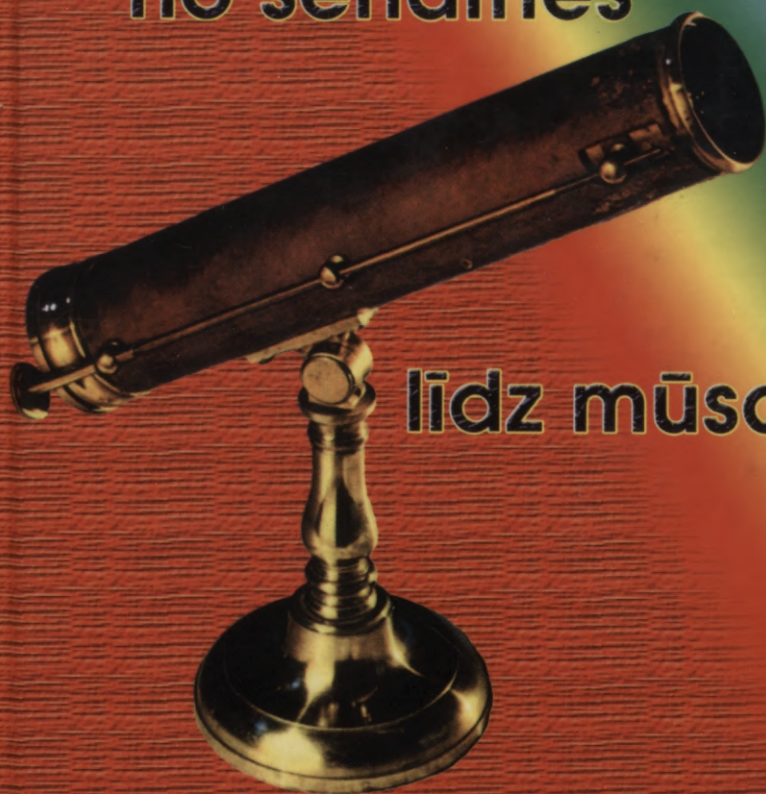


**Valdis
Rēvalds**



Optika

no senatnes



līdz mūsdienām



FIZIKĀLIE LIELUMI UN TO MĒRVIENTĪBAS

FIZIKĀLO MĒRVIENTĪBU APZĪMĒJUMI

A ampērs	h stunda	mol mols
Å angstrēms	Hz hercs	MeV mega elektronvolts
atm atmosfēra	J džouls	N ņūtons
au astronomiskā vienība	K kelvins	Oe ersteds
°C Celsija grāds	kcal kilokalorija	pc parseks
cal kalorija	kg kilograms	rad radiāns
cm centimetrs	km kilometrs	s sekunde
din dins	ly gaismas gads	sr steradiāns
eV elektronvolts	m metrs	V volts
F farads	m/s metrs sekundē	W vats
g grams	ZS zirgspēja	

PRIEDĒKĻI SI SISTĒMASVIENĪBU DAUDZKĀRTŅU UN DAĻVIENĪBU NOSAUKUMU VEIDOŠANAI

Priedēklis	Apzīmējums	Lieluma kārtā	Priedēklis	Apzīmējums	Lieluma kārtā
eksa	E	10 ¹⁸	deci	d	10 ⁻¹
peta	P	10 ¹⁵	centi	c	10 ⁻²
tera	T	10 ¹²	mili	m	10 ⁻³
giga	G	10 ⁹	mikro	μ	10 ⁻⁶
mega	M	10 ⁶	nano	n	10 ⁻⁹
kilo	k	10 ³	pico	p	10 ⁻¹²
hekto	h	10 ²	femto	f	10 ⁻¹⁵
deka	da	10 ¹	atto	a	10 ⁻¹⁸
–	–	1			

GAISMAS MĒRVIENTĪBAS

Gaismas stiprums	vece	cd	pamatvienība
Gaismas plūsma	lūmens	lm	1cd·1sr
Gaismas daudzums	lūmeni sekundē	lm·s	1lm·1s
Spīdība	lūmeni no m ²	lm/m²	1lm/1m ²
Spožums	nits	nt	1cd/1m ²
Apgaismojums	lukss	lx	1lm/1m ²
Apgaismojuma daudzums	luksi sekundē	lx·s	1lx·1s

FIZIKĀLO LIELUMU PAMATVIENĪBAS SI SISTĒMĀ

Fizikālais lielums	Vienība	Vienības apzīmējums
Garums	metrs	m
Masa	kilograms	kg
Laiks	sekunde	s
Temperatūra	kelvins	K
Vielas daudzums	mols	mol
Gaismas stiprums	svece (kandela)	cd
Elektriskās strāvas stiprums	ampērs	A

FIZIKĀLO LIELUMU ATVASINĀTĀS VIENĪBAS SI SISTĒMĀ

Fizikālais lielums	Vienība	Vienības apzīmējums
Spēks	ņūtons	1 N = 1 kg · m/s²
Spiediens	paskāls	1 Pa = 1 N/m²
Energija	džouls	1 J = 1 N · m
Jauda	vats	1 W = 1 J/s
Elektriskais lādiņš	kulons	1 C = 1 A · s
Spriegums	volts	1 V = 1 J / C
Pretestība	oms	1 Ω = 1 V / A
Magnētiskā lauka intensitāte	ampērs uz metru	1 A/m

MĒRVIENĪBU SAVSTARPĒJĀ ATBILSTĪBA

1 km = 10 ³ m = 10 ⁵ cm = 10 ⁶ mm	1 bārs = 10 ⁶ din/cm ² = 10 ⁵ N/m ² = 10 ⁵ Pa
1 Å = 10 ⁻¹⁰ m = 10 ⁻⁴ mm = 10 ⁻¹ nm	1 atm = 760 mmHg = 760 tor = 1,013 · 10 ⁵ N/m ² =
1 colla = 2,54 cm	= 101,3 kPa = 1,013 bar
1 pēda = 0,3048 m	1 J = 10 ⁷ erg = 0,239 cal
1 jards = 0,9144 m	1 cal = 4,184 J
1 jūdze = 1,609 km	1 kWh = 3,6 · 10 ⁶ J = 860 kcal
1 mārciņa (krievu) = 0,4095 kg	1 eV = 1,6 · 10 ⁻¹⁹ J
1 mārciņa (angļu) = 0,4546 kg = 454,6 g	1 Oe = 79,6 A/m
1 puds = 40 mārciņu (krievu) = 16,38 kg	1 rad = 57°18'44,81" = 206 464,81"
1 N = 10 ⁵ din	1 ZS = 735,5 W

2001-5
220

Latvijas nacionālā
BIBLIOTĒKA

0302004503

Valdis Rēvalds

OPTIKA NO SENATNES LĪDZ MŪSDIENĀM

Saturs

Valdis Rēvalds

OPTIKA NO SENATNES LĪDZ MŪSDIENĀM

1.2.	Optika (grīdīski optos – redzams) sākotnēji attīstījās kā zinātne par redzi. Pēc daudzu	5
2.2.	Herona zinātniskais darbs "Optika" (I) par redzes	8
2.3.	Duccio pierādīja, ka gaismas līnijas izplatās taisnās līnijās un atspoguļojas	9
2.4.	Optika un spektrālo pētījumu izstrāde	11
2.5.	Optikas un astronomijas attīstība	20
2.6.	Vielas dispersijas pētījumi	21
2.7.	Praktiskā optika attīstība un ieviešana	25
2.8.	Gaisma difrakcijas teorija	26
2.9.	Pielāgta optikas teorija	33
2.10.	Optiskās sistēmas	33
2.11.	Gaisma spektrālā analīze	33
3.	KVANTU OPTIKAS IZVEIDE	33
3.1.	Terminu starojuma kvantu izveide	33
3.2.	Plancka kvantu	33
3.3.	Fotofekta likumības izstrāde	33
3.4.	"Apgažis" mācību grāmatas izveide	33
3.5.	Raiņa bulv. 19, Rīga, LV-1010	33
3.6.	Tel. fakss 7 615 695	33
3.7.	Reg. apl. Nr. 2-0812	33
3.8.	Latvijas Republikas Kultūras ministrija	33
3.9.	Valdis Rēvalds	33
3.10.	2001. gada 1. izdevums	33



Mācību grāmata
Rīga, 2001

0302007503

Valdis Rēvalds

OPTIKA NO SENATNES LĪDZ MŪSDIENĀM

Optika (grieķiski *optos* – redzams) sākotnēji attīstījās kā zinātne par redzi. Pēc daudzu zinātnieku domām, 80 – 90% informācijas cilvēks saņem optiskā ceļā ar redzes starpniecību. Tagad optika pārtapusi plašā un sazarotā zinātnes nozarē: mācībā par optiskā starojuma dabu, izstarošanas un izplatīšanās likumiem un parādībām, ko novēro, gaismai mijiedarbojoties ar vielu. Grāmatā aplūkoti optikas attīstības svarīgākie etapi un analizēti cēloņi uzskatu maiņai par gaismas dabu. Sikāk aplūkotas dažas zinātnes nozares, kuras tieši saistītas ar optiku vai kuru attīstībā optikai bijusi būtiska nozīme. Samērā daudz vietas atvēlēts optisko dabas parādību aprakstam.

Grāmata paredzēta visai plašam lasītāju lokam. To kā papildmateriālu fizikas kursa apgūvē var izmantot Fizikas un matemātikas fakultātes studenti, kā arī citu dabas zinību fakultāšu studenti. Grāmata var būt noderīga arī pasniedzējiem, skolotājiem un visiem tiem zinātkārajiem, kas interesējas par zinātni un zinātnes vēsturi.

Redaktore: Dzintra Auziņa
Maketu veidoja: Jānis Kuzmanis

Apgāds "Mācību grāmata"
Raiņa bulv. 19, Rīgā, LV-1010
Tel./fakss 7 615 695
Reģ. apl. Nr. 2-0812

ISBN 9984-18-175-8



© Valdis Rēvalds, 2001
© "Mācību grāmata", SIA, 2001

Saturis

IEVADS	5
1. NO OPTIKAS VĒSTURES	9
1.1. Zinātne antikajā pasaulē	9
1.2. Optika Senajā Grieķijā	9
1.3. Aleksandrijas periods	11
1.4. Zinātne Senajā Romā	20
1.5. Optika viduslaikos	21
1.6. Optika renesanses periodā	25
1.7. No Galileja līdz Ņūtonam	33
2. FIZIKĀLĀS OPTIKAS RAŠANĀS UN UZPLAUKUMS	49
2.1. No Ņūtona līdz Frenelim. Gaisma – korpuskula vai vilnis	49
2.2. Heršelu dzimtas ieguldījums zinātnē	65
2.3. Puasons pierāda to, ko nevēlas. Frenela optisko pētījumu triumfs	70
2.4. Optisko un spektrālo pētīšanas metožu panākumi 19. gadsimtā	82
2.5. Optikas un astronomijas saistība	91
2.6. Vielas dispersijas pētījumi	100
2.7. Praktiskās optikas attīstība un sasniegumi 19. gadsimta beigu periodā	102
2.8. Gaismas elektromagnētiskā teorija	112
2.9. Fizikālās optikas uzplaukums	117
2.10. Ētera teorijas strupceļš	119
2.11. Gaismas spiediena pētījumi	123
3. KVANTU OPTIKAS IZVEIDE	128
3.1. Termiskā starojuma likumības. Ultravioletā katastrofa	128
3.2. Planka formula	131
3.3. Fotoefekta likumības. Elektronu atklāšana	133
3.4. Ētera problēmas risinājums	136
3.5. Ūdeņraža atoma spektrs	139
3.6. X staru atklāšana	142
3.7. Rezerforda – Bora atoma modelis	144
3.8. Debroljī vilnis. Kvantu fizikas uzskatu nostiprināšanās	153
3.9. Optiskie pētījumi kvantu fizikas laikmetā	158
3.10. Čerenkova efekts	164
3.11. Astronomija sagādā pārsteigumus	168
3.12. Jaunu optikas nozaru veidošanās 20. gadsimta otrajā pusē	173

4. OPTIKA DABĀ, ZINĀTNĒ UN TEHNIKĀ	196
4.1. Eksperimentālās spektroskopijas sasniegumi	196
4.2. Elementu periodiskās sistēmas izveide	215
4.3. Redzamā starojuma viļņu garums un krāsa	228
4.4. Fotografijas virzība no heliogrāfijas līdz hologrāfijai	237
4.5. Luminiscence dabā un tehnikā	262
4.6. Redzes optika	270
4.7. Optiskie instrumenti	283
4.8. Saules starojuma pētījumi un Saules enerģijas izmantošana	306
4.9. Polārblāzma	318
4.10. Optiskās parādības atmosfērā	322
4.11. Zibens	341
4.12. Jūras optika	353
PIELIKUMI	365
1. pielikums. Personāļu alfabētiskais saraksts	365
2. pielikums. Svarīgākie ar optikas attīstību saistītie atklājumi	378
3. pielikums. Literatūras avoti	382
4. pielikums. Interneta adreses	384

IEVADS

Doma par šādas grāmatas tapšanu autoram radās jau samērā sen – apmēram pirms 30 gadiem. Iemesls – šāds prozaisks atgadījums. Pēc disertācijas aizstāvēšanas kāds autora paziņa painteresējās par veiktā darba tematu. Pēc paskaidrojuma, ka disertācijā atspoguļoti gāzizlādes optiskie pētījumi, jautājums vairs netika apspriests. Drīz pēc tam, iepazīstinot ar savu kolēģi, minētā persona autoru raksturoja kā optiķi – briļļu speciālistu. Nebūt nenosodot šo cilvēku, taču uzklusot tādu optikas traktējumu, autoru vienmēr pārņem nepadarīta darba izjūta. Protams, var rasties jautājums, vai tad optika ir tikai brilles?

Brilles ir vienas no daudzajām un vissenākajām optiskajām ierīcēm. Vēl senāki ir tikai palielināmie stikliņi jeb, kā mēs tagad tos saucam, lēcas. Līdz mūsdienām saglabājušās daudzas liecības par uguns iegūšanu ar aizdedzināmo stikliņu un spoguļu palīdzību. Ar šīm ierīcēm iegūta “tīra uguns” upurēšanai. Par gaismu savācošu stikliņu spēju izraisīt uguni rakstīja sengrieķu dramaturgs Aristofans. Šāda stikla lodīšu īpašība aprakstīta arī Plīnija un Senekas darbos.

Līdz pat 13. gadsimtam, kad sāka lietot brilles, optikas jomā būtisku pārmaiņu nebija. Pirmās brilles bija paredzētas, lai novērstu tālredzību, kas raksturīga vecākiem cilvēkiem. Brillēs izmantoja izliektas garfokusa lēcas. Par briļļu dzimteni uzskata Itāliju. Taču to izgudrošana līdz pat šim brīdim ir optikas vēsturē nenoskaidrots jautājums. Pastāv vairākas versijas. Viena no tām balstās uz faktu, ka Florencē Svētās Marijas baznīcā uz viena no kapakmeņiem ir uzraksts, kas vēsti, ka 1317. gadā mirušais Salvino Armati ir briļļu izgudrotājs.

Florences bibliotēkā glabājas Svētās Katarīnas klostera mūka Džordāno di Rivalto sprediķa, kas noturēts 1305. gadā, trīs noraksti, kur sacīts: “No tā laika vēl nav pagājuši pat divdesmit gadu, kad tika izgudrota briļļu izgatavošanas māksla.” Tādējādi, pēc Rivalto vārdiem, brilles izgudrotas ap 1285. gadu. Pilnīgi skaidrs, ka 13. un 14. gadsimta mijā brilles jau plaši izmantotas, par ko liecina briļļu attēlojums vitrāžās un gleznās. Laiks, kad tuvredzības kompensēšanai sāka izmantot brilles ar ieliektām lēcām, nav zināms.

Daba apveltījusi cilvēku ar brīnišķīgiem optiskiem instrumentiem: tās ir acis. Acis nodrošina iespēju redzēt gandrīz visu ap mums notiekošo, un tikai mazāko daļu no tā – acīm netveramo – mums palīdz izziņāt citas maņas: dzirde, oža, garša un tauste.

Vārds “optika” tulkojumā nozīmē “redzu”. Jau sirmā senatnē cilvēks centās redzēt pēc iespējas vairāk. Viņš neapmierinājās tikai ar to, kas bija saredzams tuvākajā apkārtnē uz zemes, bet vērsa savu skatienu arī uz debesīm. Lai uzlabotu un atvieglotu debess spīdekļu novērošanu un to kustības pie debess juma pētīšanu, tika celtas speciālas observatorijas, kas nereti kalpoja arī par kulta vietām. Daudzām tautām bija izplatīts Saules kulta, kas arī saprotams, jo Saule ir gaismas un visa dzīvā avots.

Uz vizuālo novērojumu bāzes, apkopojot un matemātiski apstrādājot novērojumu datus, radās senākā no zinātnēm – astronomija. Astronomija veidoja pamatu laika skaitīšanai, kalendāra izveidei un navigācijai.

Pēc briļļu izgudrošanas turpmāko trīs gadsimtu laikā optikas attīstībā būtiski pavērsieni nenotika. Svarīgākais šo gadsimtu devums bija stikla ieguves un apstrādes tehnoloģijas pilnveidošanās. Par to liecina fakts, ka 1301. gadā Venēcijā dome izdeva rikojumu, kas aizliedza brilles izgatavot no zemas kvalitātes stikla. Šajā laikā tika atvērtas daudzas stikla apstrādes darbnīcas. Stikla apstrāde kļuva par izplatītu nodarbošanos.

Taču drīz optikas jēdziena saturs krasi mainījās. Revolucionārs pavērsiens optikas attīstībā aizsākās 16. un 17. gadsimta mijā, kad teleskopa un mikroskopa izgudrošana ļāva vizuāli novērot gan kosmiskus, gan arī ļoti sīkus objektus. Turpmāko divarpus gadsimtu laikā zinātnieku un praktiķu pūles galvenokārt bija veltītas šo instrumentu kvalitātes uzlabošanai – pirms Galileja izveidotie tālskati palielināja 3 – 6 reizes, Galileja teleskopa palielinājums bija 34 reizes, bet mūsdienu teleskopiem tas jau ir 1000 reižu. Uzlabojot refraktoru kvalitāti, izšķiršanas robeža tika sasniegta ap 1897. gadu, kad ASV Jērksa observatorijā tika uzstādīts Klarka 40 collu refraktors. Tā izšķirtspēja sasniedza 0",1. Reflektoriem var iegūt augstāku izšķirtspēju, palielinot objektīva diametru. Diemžēl šo izšķirtspēju nevar pilnībā izmantot atmosfēras turbulences dēļ. Tikai pēdējā laikā, izmantojot adaptīvās optikas metodes vai izvietojot aparatūru ārpus Zemes atmosfēras, izdodas šo šķērslī daļēji pārvarēt. Teleskopa izgudrošana pavēra cilvēkiem Visuma tāles. Kosmiskā teleskopa izveidošana un ievadišana orbītā ap Zemi daudzkārt attālināja redzamā Visuma robežas. Balstoties uz optisko novērojumu bāzes, izstrādāta Visuma izplešanās koncepcija.

Lieli sasniegumi ir arī mikroskopu izveidē un izmantošanā. Reizē ar mikroskopu izgudrošanu optika ienāca mikropasaulē, bioloģijā un medicīnā. Jau 19. gadsimta beigās mikroskopu izšķirtspēja sasniedza robežvērtību, ko nosaka apgaismošanai izmantotās gaismas viļņa garums. Šo vērtību 1886. gadā ieguva vācu fiziķis Ernsts Abe, izmantojot apohromātiskus imersijas objektīvus. Mikroskopijā izšķirtspējas palielināšanu 20. gadsimta četrdesmitajos gados panāca, izmantojot elektronu viļņu dabu. Arī šajā gadījumā attēla iegūšanas fotogrāfiskais veids vai attēla vizualizēšana uz luminiscenta ekrāna parādīja optiskās uztveres priekšrocības.

Daudzos gadījumos lietderīgi izmantot elektromagnētisko viļņu radio diapazonu, ko lieto radiolokācijā un radioastronomijā. Pietiekamu izšķirtspēju šajos gadījumos nodrošina lielas apertūras izmantošana. Arī šeit objekta attēlus vizualizē uz televizora ekrāna vai ar speciālas hologrāfiskas metodes palīdzību.

Acs ir ļoti labi piemērota savu funkciju izpildīšanai sadzīviskā nozīmē. Apbruņota ar mikroskopu un teleskopu, tā ir spējīga veikt pārsteidzošus atklājumus astronomijā un sīko objektu pasaulē. Taču acij ir arī būtiski trūkumi. Tā nespēj pietiekami labi analizēt gaismas spektru, ko sadzīvē raksturojam ar krāsu. Izšķir sešas krāsas: sarkanu, oranžu, dzeltenu, zaļu, zilu un violetu. Ar dažādu vārdu kombināciju palīdzību vēl varam raksturot dzeltenī zaļu, debess zilu, tumši zilu u. c. krāsu toņus. Domājams, ka cilvēka attīstības un izdzīvošanas procesā sīkākai gaismas sastāva analīzei nav bijusi būtiska nozīme. Taču, lai spriestu par objektu fizikālo stāvokli, šāds iedalījums nav pietiekams. Tādēļ patiesām ko-

losālas iespējas optikas tālākai attīstībai pavēra G. Kirhofs un R. Bunzens, kuri 1860. gadā atklāja spektrālanalīzi, kas ir mūsdienu astrofizikas un mikropasaules fizikas pamats.

Līdzās spektroskopijai fotogrāfiskā procesa atklāšana, kas saistīta ar Ž. Njepsa, J. Dagēra un V. Talbota vārdiem, bija nenovērtējams sasniegums. Fotogrāfijas un spektroskopijas atklājumu apvienošana deva spēcīgu impulsu 19. gadsimta otrajā pusē ne tikai optikas, bet arī fizikas attīstībai vispār. Fotogrāfija sniedza iespēju precīzi fiksēt un dokumentēt novērojumu rezultātus. Pat mūsdienās, kad plaši izmanto ātrāku un ērtāku, t. i., fotoelektrisku reģistrēšanas veidu, fotogrāfiskais process daudzās nozarēs ir neaizstājams un tā nozīme ir pat palielinājusies.

19. gadsimts dēvējams par fizikālās optikas uzplaukuma laiku. Tās panākumi bija milzīgi. Starp fizikas attīstītākajām nozarēm optika izvirzījās priekšplānā. Vispirms tika atklāts interferences princips un pētīta gaismas polarizācija. Tad izstrādāta gaismas mehāniskā teorija un izdarīti gaismas ātruma mērījumi. Optikas augstākie sasniegumi šajā periodā asociējas ar Dž. Maksvela gaismas elektromagnētiskās teorijas izstrādi un daudzo optisko efektu atklāšanu.

20. gadsimtā optika pārdzīvoja nopietnas pārvērtības, kuru iesākums sakrita ar gadsimta miju. Optikas progress 20. gadsimta sākumā saistīts galvenokārt ar gaismas kvantu idejas attīstību un ar dažādu kvantu efektu atklāšanu un pētīšanu. Rezultāts – 1960. gadā tika radīti optiskie kvantu generatori jeb lāzeri. Lāzera atklāšana izraisīja apvērsumu optikā, kas salīdzināms ar mikroskopa un tālskata izgudrošanu vai arī ar spektrālanalīzes ieviešanu.

Mūsdienu fizikā gandrīz visas revolucionārās idejas ir radušās, pateicoties atklājumiem, kas veikti ar optiskām metodēm, piemēram, gravitācijas un Visuma izplešanās teorija, kvantu teorija, relativitātes teorija, atombūves teorija un nenoteiktības princips. Tie visi radās kā optisko novērojumu sekas. Pat pavisam ieskaits zinātniskās domas attīstības vēsturē liecina, ka optika ne reizi vien atradusies zinātnes apvērsumu priekšgalā un piesaistījusi fizikas vēstures gaišākos prātus: Pitagoru, Aristoteli, Eiklīdu, Arhimēdu, Ptolemaju, Ņūtonu, Freneli, Jungu, Maksvelu, Planku, Boru un Einšteinu.

Pēc lāzeru un skaitļošanas tehnikas ieviešanas fizikas laboratoriju praksē radās daudzas jaunas fizikas nozares. Tai skaitā lāzeru fizika, nelineārā optika, speķlu optika, nelineārā spektroskopija, datoru optika. Praktiski no jauna radušās vai arī stipri pārveidojušās tādas nozares kā hologrāfija, Furjē optika, Hilberta optika, adaptīvā optika, gaismas vadu optika un integrālā optika.

Lāzerus plaši izmanto arī citās jomās: plazmas fizikā, skaitļošanas tehnikā, sakaru tehnikā, bioloģijā, medicīnā, ķīmijā u. c. Tagad grūti iedomāties tādu cilvēku darbības jomu, kur neizmantotu lāzeru vai citas optiskas ierīces un optiskās pētīšanas metodes. Attīstītajās valstīs palielinājies pieprasījums pēc plaša profila speciālistiem – optiķiem. Jūtama nepieciešamība uzlabot optisko izglītību.

Šīs grāmatas nolūks ir sniegt ieskatu optikas attīstības vēstures svarīgākajos etapos, kā arī raksturot dažus fizikas novirzienus un iegūto optisko pētījumu rezultātus tajos.

Materiāls ir sadalīts četrās nodaļās. Pirmajā nodaļā ir aptverts laika periods no sendienām līdz Ņūtonam. Otrajā nodaļā aplūkots Ņūtona optikas valdīšanas laiks un tā

nomaiņa ar viļņu optiku, kuras kulminācija bija Dž. Maksvela elektromagnētiskās teorijas izveide. Trešajā nodaļā lasāms par klasiskās fizikas grūtībām dažu optikas parādību skaidrošanā un ilustrēta kvantu priekšstatu nostiprināšanās. Tādējādi šajās nodaļās lasītājs gūs informāciju, kā mainījušies uzskati par gaismas dabu, sākot no antikajiem priekšstatiem un beidzot ar elektromagnētisko viļņu un kvantu skaidrojumu. Cēlonis uzskatu maiņai par gaismas dabu sakņojās praksē, eksperimentā un saprotamā vēlmē atrast loģisku skaidrojumu novērojumiem dabā. Antīkajā pasaulē eksperimenti praktiski netika veikti, un parādību skaidrojums lielā mērā bija atkarīgs no zinātnieka pasaules uzskata. Tikai vēlākajā periodā, kad tika realizēti speciāli eksperimenti, bija svarīgi, lai tā skaidrojums nebūtu pretrunā ar eksperimenta rezultātu. Taču, kā parāda zinātnes (tajā skaitā arī optikas) attīstības vēsture, šeit neiztika bez pārpratumiem.

Materiāla izkārtojumā iespēju robežās ir saglabāta hronoloģija dažādo jautājumu izklāstā, kas saistīti ar optiskajiem novērojumiem, optisko ierīču izveidi un izmantošanu, kā arī ar dažādo optisko efektu atklāšanu.

Ceturtajā nodaļā sīkāk aplūkoti daži optikas novirzieni, kuriem ir būtiska nozīme zinātnē, sadzīvē, dabas parādību izpratnē, kā arī jautājumi, kuru noskaidrošanā optiskām metodēm bijusi nozīmīga loma. Tādēļ saprotams, ka šis materiāls aptver tikai nelielu daļu no tā milzīgā informācijas apjoma, ko spēj dot optikas zinātne.

Optika... – filozofijas krāšņums, caur kuru, bet ne bez tās līdzdalības, var izzināt visas citas zinātnes.

Rodžers Bēkons

1. NO OPTIKAS VĒSTURES

1. 1. Zinātne antikajā pasaulē

Zinātnes sākums bija fantastisko priekšstatu par pasauli nomaiņa ar priekšstatiem, kas balstījās uz novērojumiem un saprāta slēdzieniem. Lai šādu uzdevumu izvirzītu un veiktu, sabiedriskajai apziņai jāsasniedz augstāks attīstības līmenis, nekā tas bija pirmatnējā kopienā un agrīnajā vergturu sabiedrībā. Zinātnes attīstības pirmais etaps atbilst vēlākajai vergturu sabiedrībai, taču tad zinātne vēl nebija atdalījusies no filozofijas un netika izmantotas eksperimentālas metodes.

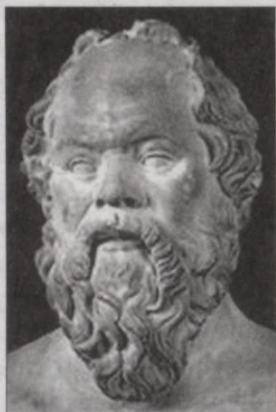
Par cilvēces kultūras dzimteni uzskata Seno Austrumu zemes, kur dažus gadu tūkstošus pirms mūsu ēras izveidojās lielas vergturu valstis. Šeit būvēja pilis, tempļus, milzīgus pieminekļus, piramīdas, raka kanālus, cēla dambjus, ierīkoja ūdenskrātuves. Attīstījās tirdzniecība, tika veikti ceļojumi, sāka būvēt kuģus. Šo uzdevumu veikšanai bija nepieciešamas zināšanas matemātikā, astronomijā, mehānikā, hidrostatikā un arī optikā.

Optika ir viena no senākajām zinātnēm. Visos attīstības etapos tai ir bijusi cieša saistība ar izmantošanu praksē.

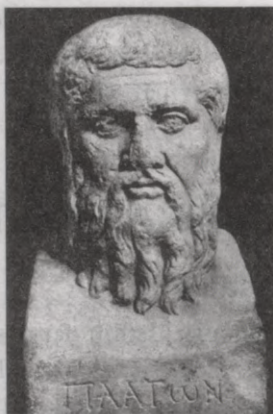
Tika novērotas optiskas parādības dabā. Novērojumi liecināja, ka gaisma atstarojas no gludiem priekšmetiem un izplatās taisnā virzienā. Šis fakts bija zināms Mezopotāmijā jau apmēram 5 tūkstošus gadu pirms mūsu ēras, bet Senajā Ēģiptē to izmantoja celtniecības darbos. Novērojot sakarību starp Saules augstumu un priekšmeta ēnas garumu un virzienu, radās iespēja noteikt laiku. Ķīnā Saules pulksteņus izmantoja jau ap 2000. g. p. m. ē. Vēlāk tos plaši lietoja Ēģiptē, Grieķijā un Romā. Stiklu Ēģiptē prata kausēt jau 3 – 4 tūkstošus gadu p. m. ē. No stikla gatavoja traukus un rotaslietas. Izmantoja arī dabiskos kristālus: kalnu kristālu, topāzu, turmalīnu. Senākās lēcas no kalnu kristāla izgatavotas jau apmēram pirms 4500 gadiem. Tās 1890. gadā izrakumos Trojā atklāja vācu arheologs Heinrihs Šlīmanis. Dažāda palielinājuma stikla lēcas tika atklātas arī Sargonā, Mezopotāmijā. Pētnieki to vecumu lēš ap 600. – 400. g. p. m. ē. Tbilisi muzejā, Gruzijā, glabājas unikāla kalnu kristāla 45 mm diametra lēca, kas izgatavota 9. gadsimta sākumā.

1. 2. Optika Senajā Grieķijā

Tehniskās zināšanas un pieredzi grieķi, domājams, guva no Babilonijas un Ēģiptes. Praktiskās zināšanas, tehniskās iemaņas, augsts vispārējās kultūras līmenis, labi izveidota valoda, ko veicināja filozofijas un matemātikas pētījumi, tas viss 4. gs. p. m. ē. Grieķijā veidoja labvēlīgu augsni, lai skaidrotu un aprakstītu dabas parādības. Šo apstākļu iespaidā veidojās arī fizikas zinātne. Nosaukums cēlies no vārda *physis*, kas nozīmē – daba. To grieķu filozofu, kas dzīvoja pirms Sokrāta (ap 470. – 399. g. p. m. ē.), darbi saglabājušies citātu veidā vēlāko autoru sacerējumos. No šiem materiāliem redzams, ka grieķu agrīnā



Sokrāts
(ap 470. – 399. g. p. m. ē.)



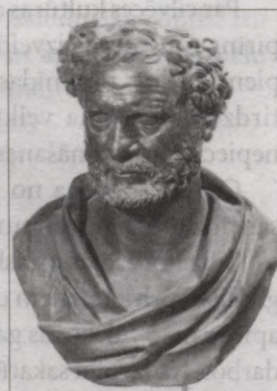
Platons
(427. vai 428. – 348. g. p. m. ē.)



Tales
(ap 625. – 547. g. p. m. ē.)

perioda filozofi, ieskaitot Platonu (427. vai 428. – 348. g. p. m. ē.), maz interesējušies par dabas parādībām un konkrētu priekšmetu īpašībām. Viņi nodarbojās ar pasaules uzbūves vispārējo problēmu risināšanu. Tā Tales (ap 625. – 547. g. p. m. ē.), kurš bija Senās Grieķijas filozofijas un zinātnes iedibinātājs, Milētas skolas radītājs, uzskatīja, ka visa pirmsākums ir ūdens: viss rodas no ūdens, viss pārvēršas ūdenī. Tales ir veicis arī

zinātniskus atklājumus. Pateicoties astronomijas zināšanām, viņš 585. g. p. m. ē. paredzēja Saules aptumsumu.



Dēmokrits
(ap 460. – 370. g. p. m. ē.)

Informāciju par gaismas dabu un redzes problēmām var atrast grieķu filozofu darbos, sākot ar 5. gs. p. m. ē. Tales skolnieks Pitagors (ap 570. – 500. g. p. m. ē.) uzskatīja, ka “redzes stari” nāk no acīm. Bet līdztekus tam pitagorieši mācīja, ka stari no Saules “izspiežas cauri blīvam un aukstam ēteram”. Līdzīgus vai nedaudz atšķirīgus uzskatus puda vēlākā perioda filozofi.

Leikips (5. gs. p. m. ē.) un viņa skolnieks Dēmokrits (ap 460. – 370. g. p. m. ē.) tiek uzskatīti par senās atomistiskās teorijas pamatlicējiem. Viņi apgalvoja, ka pasaule



Pitagors (ap 570. – 500. g. p. m. ē.) ar maģisku talismanu rokās (1584. g., franču gravīra)

sastāv no nedalāmām un neiznīcināmām daļiņām, kas kustas tukšumā. Šīs daļiņas tika nosauktas par atomiem. *Atomos* tulkojumā no grieķu valodas nozīmē nedalāms. Vēlāk šo viedokli atbalstīja arī Ņūtons. Atomisti uzskatīja, ka priekšmeti izstaro "tēlus", kas, nonākot acīs, rada formas un krāsu sajūtu. Citu viedokli izteica Empedokls (490. – 430. g. p. m. ē.), izvirzot "taustekļu" hipotēzi. Pēc šīs hipotēzes, acs izstaro speciālu fluīdu, kas aptausta priekšmetu kā ar taustekļiem, radot redzes sajūtu. Šī, no mūsu viedokļa, visai kuriozā hipotēze bija izplatīta senatnē. Abas minētās hipotēzes centās "samierināt" Sokrāta skolnieks Platons (428. – 348. g. p. m. ē.). Viņš uzskatīja ka priekšmeti izstaro speciālu fluīdu, kas satiekas ar "acu gaismu". Ja abi fluīdi ir līdzīgi, tad tie savienojas, un acs iegūst redzes sajūtu. Ja "acu gaisma" tiek ar fluīdu, kas nav tai līdzīgs, tā dziest un neizraisa nekādu sajūtu.

Pret fluīdu hipotēzi asi iebilda Platona skolnieks Aristotelis (384. – 322. g. p. m. ē.). Pēc Platona nāves Aristotelis atstāja Atēnas un apceļoja Grieķiju. Laikā no 343. līdz 340. gadam p. m. ē. Aristotelis kalpoja Maķedonijas Filipa II galmā par tā dēla Aleksandra Lielā audzinātāju. Vēlāk, 335. gadā p. m. ē., Aristotelis atgriezās Atēnās un tur dibināja savu skolu "Likejs", kuru vadīja 12 gadus. Pēc Aleksandra Lielā nāves Aristotelim nācās no Atēnam bēgt un meklēt patvērumu Halkīdas pilsētvalstī Eibojas salā, kur viņš mira 322. g. p. m. ē. 63 gadu vecumā. Aristoteļa darbi, kas uzrakstīti dialoga formā, pamatā ir zuduši, bet parastā manierē rakstītie gandrīz visi saglabājušies. Pēc tiem var spriest, ka pirmie mēģinājumi sistematizēt zināšanas par dabu pieder Aristotelim. No fiziķu viedokļa, lielāku interesi izraisa traktāti "Fizika", "Par debesīm", "Par rašanos un iznīkšanu", "Meteoroloģija", "Problēmas" un "Mehānika". Šajos darbos sistematizētas visas tālaika fizikas zināšanas.

Aristotelis iestājās pret mistiku un savu filozofiju centās saskaņot ar novērojumiem un pieredzi. Viņš uzskatīja, ka gaisma ir kādas retinātas vides – pelucīda –, kas aizpilda telpu, izpaušme. Pēc viņa domām, caur šo vidi izplatās zināma veida starojums no objekta līdz novērotāja acij. Šī ideja ir tuva 19. gadsimtā populārajai hipotēzei par ēteru. Aristotelis uzskatīja, ka krāsu atšķirības atkarīgas no dažāda tumsas daudzuma, ko pievieno baltajai Saules gaismai. Kad gaisma iziet cauri mākoņiem, tā kļūst sārta; ja gaismai pievieno vairāk tumsas, iegūst zaļu gaismu, bet pēc tam arī zilu un violetu gaismu. Baltā gaisma ir vienkārša, tā ir pamatgaisma.

Aristotelis ir viens no ģeocentriskās pasaules sistēmas pamatlicējiem. "Zemmēness" pasaule, t. i., telpa starp Mēness sfēru un Zemes centru, pēc Aristoteļa domām, ir nevienmērīgu kustību rajons, un to aizpilda ķermeņi, kas sastāv no četriem zemākiem elementiem: zemes, ūdens, gaisa un uguns. "Virsmēness" pasaulē valda vienmērīga kustība, un zvaigznes sastāv no piektā augstākā elementa – ētera. Aristoteļa ģeocentriskās kosmoloģijas iespaids saglabājās līdz Kopernikam.

1. 3. Aleksandrijas periods

Pēc Aristoteļa nāves Atēnas sāka zaudēt savu nozīmi kā zinātnes centrs. Par zinātnisko pētījumu centru kļuva Aleksandrija. Ēģiptes Ptolemaju dinastijas dibinātājs Ptolemajs I Soters – "Glābējs", kurš bija viens no Maķedonijas Aleksandra karavadoņiem, valdīšanas laikā (305. – 283. g. p. m. ē.) pieaicināja savā galmā Aristoteļa skolnieku Faleras Dēmetriju

un uzdeva viņam izveidot skolu pēc Aristoteļa "Likeja" parauga. Tā radās Aleksandrijas muzejs. Muzeja bibliotēka sākotnēji veidojās no Aristoteļa darbiem. Ptolemaja II Filadelfa valdīšanas laikā (285. – 246. g. p. m. ē.) muzejs kļuva par lielu izglītības un kultūras centru. Šeit pirmoreiz cilvēces vēsturē zinātnieki dzīvoja un strādāja kopā uz valsts rēķina un viņu rīcībā bija divas lielas bibliotēkas. Muzejs organizēja arī grāmatu izdošanu. To veicināja iespēja ērti iegūt papirusu, kuru ražoja Ēģiptē. Aleksandrijas muzeja darbība ir pirmais gadījums vēsturē, kad notiek zinātnisko pētījumu kolektīva organizēšana. Pirms ugunsgrēka, kas izcēlās 47. gadā p. m. ē., Aleksandrijas bibliotēkā bija 700 000 sējumu. Ugunsgrēkā daļa bibliotēkas gāja bojā. Mūsu ēras 391. gadā to izpostīja fanātiķi kristieši, bet atlikušo daļu 7. – 8. gadsimtā iznīcināja arābi.

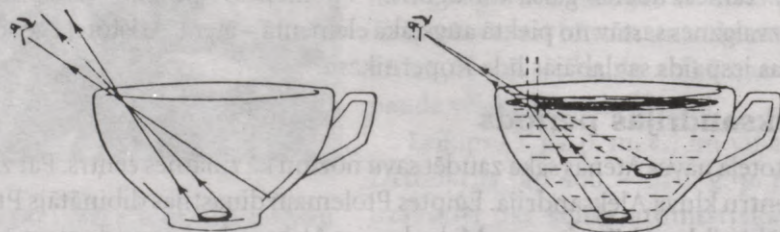
Ar Aleksandrijas periodu saistīta Platona skolnieka Eiklīda darbība (ap 365. – 300. g. p. m. ē.). Eiklīda galvenais darbs "Elementi" 13 grāmatās veltīts matemātikai. Eiklīdam ir arī darbi astronomijā, optikā, mūzikā. Viņš ir izstrādājis optikas ģeometrisko izklāstu. Traktāts sastāv no divām daļām: "Optika" un "Katoptrika".

Eiklīds aplūko gaismas taisnvirziena izplatīšanos. Pirmais Eiklīda postulāts ir: "Stari, kuri nāk no acīm, izplatās pa taisnu ceļu." Otrs postulāts ir šāds: "Figūra, ko veido redzes stari, ir konuss, kura virsotne atrodas acī, bet par pamatni kalpo priekšmeta robeža." Ar šiem un vēl desmit citiem postulātiem Eiklīds veido optikas ģeometrisko apskatu. Viņš aplūko ēnu veidošanos, attēlu iegūšanu ar mazas atveres palīdzību, atstarošanos no plakaniem un sfēriskiem spoguļiem. Kā izklāstīts "Katoprikā", attēls plakanā spogulī ir simetrisks priekšmetam attiecībā pret spoguļi, sfēriskos spoguļos attēls redzams uz taisnes, kas savieno priekšmeta punktu ar spoguļa centru, izliektos spoguļos attēls atrodas tuvāk spogulim nekā priekšmets, un tas ir samazināts. Interesants ir "Katoptrikas" sestais postulāts: "Ja kādu priekšmetu novieto trauka dibenā un trauku attālina no acs tā, lai priekšmets nebūtu redzams, tad tas šajā attālumā atkal kļūst redzams, ja trauku pielej ar ūdeni." Šajā postulātā runā par gaismas laušanu, kam nav tieša sakara ar katoptriku. Katoptrikas pēdējais postulāts skan šādi: "Ar ieliektiem spoguļiem, kas novietoti saulē, var aizdedzināt ugunsgrākus." Pierādījumā tiek runāts par Saules stariem, kas krīt uz spoguļi. Eiklīds nedod viennozīmīgu atbildi



Eiklīds

(ap 365. – 300. g. p. m. ē.)



Monēta kļūst redzama, ja trauku pielej ar ūdeni

uz jautājumu, no kurienes nāk stari: no Saules vai no acīm. Taču kopumā Eiklīds bija viens no izcilākajiem senatnes zinātniekiem, kurš izveidoja staru optikas pamatus.

Ar Aleksandrijas muzeju saistīta arī Arhimēda (ap 287. – 212. g. p. m. ē.) darbība. Pirms kāda laika tika izdarīta dažādu valstu zinātnieku aptauja. Zinātniekiem lūdza izveidot pasaules zinātnes darbinieku sarakstu atbilstoši to ieguldījuma nozīmībai mūsu civilizācijā. Pirmajās trīs vietās šajā sarakstā viennozīmīgi ierindojās Arhimēds, Ņūtons un Darvins. Ar ko gan Arhimēds izpelnījās tik augstu vērtējumu?

Arhimēda vārds pārsvarā pazīstams ar atklājumiem hidrostatikā. Arhimēda grāmata katoptrikā līdz mūsdienām nav saglabājusies, taču ir ziņas, ka viņš veicis precīzus eksperimentus. Arhimēda sacerējumi atšķiras no Atēnu skolas pārstāvju darbiem ar sistemātisku konkrētu parādību zinātnisku izpēti, kas ir raksturīga Aleksandrijas skolas pārstāvju darbībā. Arhimēds pats aprakstījis eksperimentu Saules leņķiskā diametra noteikšanai. Arhimēdam piedēvē ap 40 izgudrojumus. Sevišķi daudz to veikts trīs gadus ieilgušajā Sirakūzu aizstāvēšanas periodā pret romiešu leģioniem, kad viņš izgudroja arvien jaunas kara mašīnas.

Biogrāfiska rakstura ziņu par šo sengrieķu matemātiķi, fiziķi, astronomu un inženieri nav daudz. Viņš bija astronoma un matemātiķa Fidijs dēls. Arhimēds mācījies un kādu laiku strādājis Aleksandrijā. Draudzējies un sarakstījis ar Eratostenu un citiem tā laika zinātniekiem. Daudzi viņa darbi saglabājušies, pateicoties sarakstei ar šiem zinātniekiem. Arhimēda dzimšanas laiks precīzi nav zināms, taču viņa nāves brīdis datēts pilnīgi precīzi – 212. g. p. m. ē., kad romieši ieņēma Sirakūzas – Arhimēda dzimto pilsētu. Uzskata, ka tad viņš bijis 75 gadus vecs. No šejienes secina, ka Arhimēds dzimis 287. g. p. m. ē.

Lai gūtu nelielu priekšstatu par Arhimēda darbu nozīmību, jāpakavējas pie tā laika perioda notikumiem. Arhimēds bija Sirakūzu valdnieka Hierona II (306. – 215. g. p. m. ē.) draugs. Hierons bija gudrs un tālredzīgs politiķis, kurš prata sadzīvot mierā ar saviem kareivīgajiem kaimiņiem. Tajā laikā Roma karoja ar Kartāgu par iespaidu Vidusjūrā.

Hierona mazdēls Hieronims bija pilnīgi pretēja rakstura cilvēks: apspiedējs, mocītājs, despots. Sirakūzieši ilgi necieta šo tirānu. Viņš tika nonāvēts un Sirakūzas pasludinātas par republiku. Tā noslēdza savienību ar Kartāgu, un Sirakūzas tika ierautas karā. Romiešu karaspēks konsula un karavadoņa Marka Klaudija Marcelli un Apija Klaudija vadībā aplenca Sirakūzas no sauszemes un jūras. Taču trīs gadu laikā nespēja pārvarēt pilsētas pretestību, lielā mērā tāpēc, ka aizstāvību vadīja Arhimēds.

Sacerējuma "Romas vēsture" autors Tits Līvijs (59. g. p. m. ē. – 17. g. m. ē.) rakstīja: "Romieši, ieņēmuši Leontīni (pilsēta dienvidos no Sirakūzām) ar pirmo triecienu, pateicoties iedvestām šausmām, bija pilnīgi pārliecināti, ka kaut kādā vietā viņi ielauzīsies plašā, lielā telpā izvietotā pilsētā, un pievilka pie sienām visas esošās aplenkuma mašīnas. Un ar tādu spēku uzsāktais pasākums vainagots ar panākumiem, ja tajā laikā nebūtu viena cilvēka. Šis cilvēks bija Arhimēds."



Arhimēds
(ap 287. – 212. g. p. m. ē.)

Romas vēsturnieks Polibijs (210. – 130. g. p. m. ē.) liecina: “Arhimēds izveidoja mašīnas, kas piemērotas lādiņu mešanai jebkurā attālumā. Gadījumā, ja ienaidnieks piepeldēja no attāluma, Arhimēds neitralizēja to ar smagiem lādiņiem no tāldarbības akmeņu metējiem vai bultām un pakļāva to grūtā bezpalīdzīgā stāvoklī. Ja lādiņi sāka lidot ienaidniekam pāri, Arhimēds izmantoja mazākas mašīnas, katru reizi saskaņojot ar attālumu, un iedvesa romiešiem tādas šausmas, ka tie neiedrošinājās ieņemt izejas stāvokli vai tuvoties pilsētai kuģos.”

Sengrieķu literāts Plūtarhs (m. ē. 45. – 127. g.) rakstīja: “Beigu beigās romieši bija ļoti iebiedēti. Līdzko viņi ieraudzīja virs sienas parādāmies balķi vai virvi, tūdaļ kļiedza, ka Arhimēds laiž uz viņiem kaut kādu mašīnu, tāpēc atkāpās un sāka bēgt.”

Nav zināms, kā beigtos Sirakūzu aplenkums, ja nebūtu dievietes Artemīdas svētku. Naktī romiešu uzbrucēju vienība bez trokšņa pacēlās uz nocietinājuma sienas, novāca gulošos alkohola apreibinātos sargus un ielauzās pilsētā. Tits Līvijs rakstīja: “Ne mazums neģēlīga ļaunuma un zemiskas alkatības piemēru varētu atcerēties, taču pati ievērojamākā starp tām – Arhimēda noslepkavošana. Mežonīga apjukuma, saniknotu kareivju kļiedzienu un soļu dipoņas apstākļos Arhimēds mierīgi pārdomāja, aplūkojot smiltīs uzzīmētās figūras. Kaut kāds laupītājs nodūra viņu ar zobenu, pat nenojauzdams, kas tas tāds.”



Arhimēda noslepkavošana

Tūlīt pēc Sirakūzu krišanas Marcelli pavēlēja sameklēt un atvest cilvēku, kurš tik ilgi bija viņam pretojies. Taču bija jau par vēlu. Konsuls pavēlēja zinātnieku apbedīt, parādot tam pienācīgu godu.

Arhimēds bija slavens ne tikai ar kara mašīnu konstruēšanu, viņš radīja arī ūdens pacelšanas ierīci – Arhimēda spirāli – un daudzpakāpju polispastu. Pēdējo izmantoja lielu smagumu pārvietošanai. Plūtārhs rakstīja: “Arhimēds reiz sacīja savam radniekam un draugam valdniekam Hieronomam, ka ar šo spēku var pacelt jebkuru smagumu. Drošā pārliecībā par sava pierādījuma spēku viņš apgalvoja, ka, ja viņam būtu cita Zeme, uz kuras varētu pāriet, tad viņš izkustinātu no vietas mūsējo. Izbrīnītais Hierons lūdza viņu pierādīt savus vārdus un iekustināt ar mazu spēku kādu lielu ķermeni. Arhimēds izvēlējās valdnieka kravas kuģi, kuru ar daudzu roku palīdzību un lielām grūtībām izvilka krastā. Tajā iesēdināja daudz ļaužu, iekrāva parastu kravu un, attālāk mierīgi sēdot, bez liekas piepūles, kustinot tikai ar roku kādas sarežģītas mašīnas galu, Arhimēds sāka vilkt kuģi uz sevi tik mierīgi un vienmērīgi, it kā tas peldētu pa jūru. To redzot, Hierons izsauca: “No šā laika es pieprasu, lai Arhimēdam ticētu visā, ko arī viņš teiktu.””

Arhimēds ir arī daudzu atklājumu autors matemātikā. Viņš aprēķināja riņķa līnijas un diametra attiecību. Par galveno sasniegumu matemātikā uzskata to, ka viņš ir diferenciāl-rēķinu un integrāl-rēķinu aizsācējs. Šajā jomā Arhimēds apsteidza savu laiku par 18 gadsimtiem. Viņš izskaitļoja elipses laukumu, parabolas segmenta laukumu, konusa un lodes virsmas laukumu un tilpumu, dažādu rotācijas ķermeņu un to daļu tilpumus. Arhimēds aprēķināja, ka cilindra un tajā ievilkta lodes tilpumi attiecas kā 3/2. Šo rezultātu Arhimēds uzskatīja par tik būtisku, ka vēlēja to attēlot uz sava kapa pieminekļa. Romiešu valsts darbinieks un orators Marks Tullijs Cicerons (106. – 43. g. p. m. ē.) 100 gadus vēlāk, vadoties pēc šā pieminekļa, atrada dižā zinātnieka kapu.

Arhimēds dabas parādības centās aprakstīt ar matemātikas palīdzību, tāpēc viņu uzskata par matemātiskās fizikas ciltstēvu. Galilejs Arhimēdu dēvēja par savu skolotāju.

Arhimēds, izmantojot primitīvas ierīces, veicis pārsteidzoši precīzus mērījumus astronomijā, piemēram, noteicis Saules leņķisko diametru. Viņš rakstīja: “Nostiprinot garu lineālu uz balsta, kas atrodas vietā, no kuras redzams saullēkts, vertikāli uz lineāla novietosim nelielu izvirpotu cilindru. Kad Saule tuvu horizontam un uz to var skatīties, lineālu pagriezī pret Sauli un aci novieto lineāla galā. Tad cilindrs, atrodoties starp Sauli un aci, aizsedz visu Sauli. Pēc tam pakāpeniski attālina cilindru no acs, kamēr Saule sāks nedaudz parādīties no visām cilindra pusēm. Šajā vietā cilindru nostiprina.”

Arhimēds aprēķināja attālumu līdz Venerai, Marsam un Merkuram. Viņš izveidoja debesu globusu – tagadējā planetārija prototipu. Tā kustība tika iedarbināta ar speciālu pneimatisku mehānismu.

Arhimēda darbi optikā nav saglabājušies un par tiem var uzzināt tikai no citu autoru rakstiem. Kādā no tiem lasām par Arhimēda pētījumu objektiem: “Kāpēc plakanos spoguļos priekšmeti saglabā savu dabisko lielumu: izliektos – samazinās, bet ieliektos – kļūst lielāki; kāpēc priekšmetu kreisās puses redzamas labā pusē un otrādi; kad attēls spoguļi izzūd un kad parādās; kāpēc ieliekti spoguļi, novietoti iepretī Saulei, aizdedzina pietuvinātu posu; kāpēc debesis redzama varavīksne; kāpēc dažkārt šķiet, ka debesis ir

0302004503

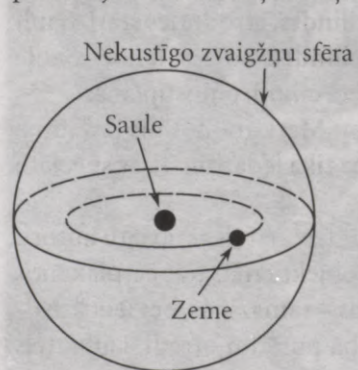
divas vienādas Saules, un daudz citu līdzīgu jautājumu, par ko stāstīts Arhimēda apjomīgajā sējumā.”

Leģenda vēsti, ka Arhimēds aizdedzinājis ienaidnieka floti ar spoguļu palīdzību. Šis fakts ilgi tika apšaubīts, neraugoties uz franču dabas pētnieka Ž. L. L. Bifona (1707 – 1788) eksperimentu.

Vēlēdamies pārbaudīt šādas idejas realizēšanas iespējas, Bifons 1767. gadā izveidoja sfērisku spoguļi no 360 plakaniem spoguļiem, no kuriem katrs bija 16 cm x 22 cm liels, un atstaroja ar šāda spoguļa palīdzību Saules starus uz malkas grēdu, kas bija novietota spoguļa fokusā 68 m attālumā no tā. Malka aizdegās. Citā eksperimentā ar sfērisku spoguļi, kas sastāvēja no 45 plakaniem spoguļiem, viņš izkausēja 6 metru attālumā novietotus trīs kilogramus alvas. Ar 117 plakaniem spoguļiem tādā pašā attālumā tika izkausēts sudrabs. Grieķu inženieris Joaniss Sakass 1973. gadā atkārtoja Arhimēda eksperimentu. Viņš izmantoja spoži pulētus vairogus, ar kuriem kareivji Saules starus virzīja uz seno romiešu kuģu koka modeļiem. Tika izdarīti pieci mēģinājumi. Pēdējā mēģinājumā kuģu modeļi aizdegās trīs minūšu laikā. Tas notika 6. novembrī pulksten 12 dienā. Tika izmantoti 70 vairogu, kuru izmēri bija 1,3 m x 1,0 m, bet attālums līdz kuģu modeļiem bija 55 metri.

Senās Grieķijas zinātnieks Eratostens (276. – 194. g. p. m. ē.), kurš darbojās daudzās kultūras nozarēs (filozofijā, matemātikā, astronomijā, ģeogrāfijā, mūzikā u. c.), pirmais noteica Zemes lodes rādiusu. Viņš novēroja, ka vasaras saulgriežos pusdienlaikā Saules stāvoklis Sienā (tagadējā Asuāna) atšķiras par $7^{\circ}12'$ no Saules stāvokļa Aleksandrijā. Pieņemot, ka Zemei ir lodes forma, un zinot, ka Siena atrodas 5000 stadiju uz dienvidiem no Aleksandrijas, var aprēķināt Zemes apkārtmēru $360^{\circ}/7,2^{\circ} \cdot 5000 = 250\,000$ stadiju (1 stadijs ir aptuveni 0,160 km). Pēc Eratostena vērtējuma, Zemes rādiuss ir aptuveni 6311 km, kas daudz neatšķiras no Zemes ekvatoriālā rādiusa – 6378 km.

Dažādie antīkās civilizācijas uzskati par pasaules uzbūvi pamatojas uz debess ķermeņu redzamās kustības vērojumiem.



Aristarha heliocentriskā sistēma



Eratostens
(276. – 194. g. p. m. ē.)

Zeme kā pasaules centrs tika uzskatīta par nekustīgu. Izņēmums bija Filolajs (apmēram 420. g. p. m. ē.), kurš par pasaules centru uzskatīja uguni, un Samosas Aristarhs (320. – 250. g. p. m. ē.), kurš uzdrošinājās Zemi “aizvākt” no pasaules centra un tur novietot Sauli. Aristarhs pirmais izteica domu par heliocentrisko pasaules uzbūvi. Taču šai teorijai nebija atbalsta, un daudzus gadsimtus valdīja uzskats par Zemi kā pasaules centrālo ķermeni.

Samosas Aristarhs ar vienkāršu metodi aprēķināja attālumu no Zemes līdz Mēnesim. Viņš novēroja Mēness lēktu un fiksēja leņķi, kādu Mēness veidoja ar nekustīgu

zvaigzni. Pēc 12 stundām Zemes rotācijas dēļ novērotājs bija pārvietojies citā punktā. Tad atkārtoti nosacīja leņķi starp virzienu uz rietošo Mēnesi un to pašu zvaigzni. Zinot ceļu, kādu pārvietojies novērotājs, un leņķus, varēja aprēķināt attālumu līdz Mēnesim. Aristarhs ieguva attālumu, kas vienlīdzīgs 56 Zemes rādiusiem. Patiesā vērtība ir 60, 2 Zemes rādiusi. Samosas Aristarhs uzskatīja, ka Saule ir vairākus simtus reižu lielāka par Zemi. Bet, ja tā, tad nav loģiski pieņemt, ka masīvāks ķermenis – Saule – griežas ap mazāku ķermeni – Zemi. Šāda hipotēze bija pretrunā ar tolaik valdošiem uzskatiem, pēc kuriem Saules izmēri ir salīdzināmi ar Peloponēsu.

Sengrieķu astronoms Hiparhs (190. – 125. g. p. m. ē.) izveidoja epiciklu teoriju, kuru vēlāk sīki izstrādāja Klaudijs Ptolemajs. Epicikls ir paligrinča līnija pasaules ģeocentriskā sistēmā, kas ieviesta, lai izskaidrotu planētu redzamo kustību. Ģeocentriskajā sistēmā pieņēma, ka planēta vienmērīgi kustas pa epiciklu, bet epicikla centrs pārvietojas pa citu riņķa līniju, kuras centrā ir Zeme. Hiparham ir arī citi nopelni. Viņš sastādīja pirmo zvaigžņu stāvokļu katalogu, kurā ietilpa ap 850 zvaigžņu. Tajā atzīmēja ar aci saskatāmās zvaigznes. Senās Romas vēsturnieks Plīnijs (23 – 79), kurš traģiski gāja bojā 79. gadā Vezuva izvirduma laikā, izklāsta cēloņus, kas Hiparhu ierosināja ķerties pie šā uzdevuma.



Hiparhs (190. – 125. g. p. m. ē.)

Skorpiona zvaigznājā tika novērots spožs jaunas zvaigznes uzliesmojums. Ieinteresējies par to, Hiparhs nolēma atzīmēt visas zvaigznes, lai turpmāk varētu konstatēt jaunu zvaigžņu parādīšanos. Šāda uzdevuma veikšanai nepieciešams atzīmēt ne tikai zvaigžņu stāvokļus zvaigznājos, bet arī norādīt, kāds ir to spožums. Spožākās zvaigznes ieguva pirmā lieluma zvaigžņu nosaukumu. Pašas vājākās zvaigznes, kuras vēl varēja saskatīt ar neapbruņotu aci bezmēness naktī, ieguva sestā lieluma zvaigžņu nosaukumu. Spožuma intervālu starp tām sadalīja piecās daļās, lai katra nākamā zvaigžņu lieluma zvaigznes spožums no iepriekšējā atšķirtos par vienādu lielumu. Uz Hiparha kataloga bāzes, kas daudzu gadsimtu laikā tika papildināts un uzlabots, izveidojās mūsdienu zvaigžņu katalogi. Šajā darbā ieguldījumu devuši Senās Grieķijas, Romas, arābu pasaules un Eiropas astronomi.

Sākot ar Hēronu I. gs. p. m. ē., zinātnieki optiku sāka dalīt zinātnē par atstarošanu ("katoptrika") un zinātnē par laušanu ("dioptrika"). Hērona darbā "Par dioptru" izklāstītas zemes mērīšanas metodes un likumi, dots dioptra – ierīces leņķu mērīšanai, mūsdienu teodolīta prototipa – apraksts. Gaismas atstarošanās principi izklāstīti "Katoptrikā". Hērons konstatēja, ka krišanas un atstarošanas leņķi ir vienādi. Šādā gadījumā stari noiet īsāko ceļu. Šajā idejā var saskatīt Fermā jeb vieglākā optiskā ceļa principa iedīgļus. Hērona idejas ģeometriskajā optikā tālāk attīstītas Ptolemaja darbos.

Klaudijs Ptolemajs strādāja Aleksandrijā no mūsu ēras 127. gada līdz 151. gadam. Ptolemaja darbi optikā tika uzskatīti par zudušiem. Taču 1801. gadā tika atrasts to latīniskais

tulkojums no arābu valodas. Ptolemajs pētījis redzes procesu un ar to saistītās ilūzijas: laušanu uz gaisa – ūdens un gaisa – stikla robežas. Viņš noskaidroja, ka astronomiskās refrakcijas dēļ zvaigžņu šķietamais stāvoklis virs horizonta ir augstāks par patieso. Virs horizonta ir redzamas zvaigznes, kuras vēl nav uzlēkušas, vai arī tās, kas ir jau norietējušas. Ptolemajs pētīja laušanas leņķus, ja krišanas leņķis ir neliels. Vēlāk viņa skolnieki kļūdaini secināja, ka starp leņķiem pastāv proporcionalitāte. Ptolemajs savos eksperimentos izmantoja ļoti vienkāršu ierīci, kādu leņķu mērīšanai var izgatavot mājas apstākļos.



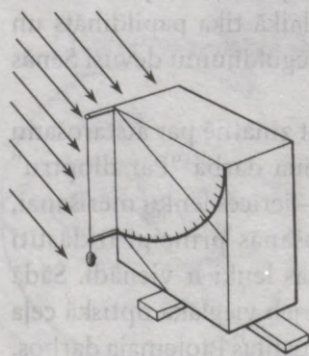
Klaudijs Ptolemajs, 2. gs.

Šī iekārta bija disks, kura centrā piestiprināti divu lineālu gali. Lineāli varēja griezties ap asi caur diska centru. Disks bija sadalīts 360 iedaļās. Puse no diska bija iegremdēta ūdenī, bet lineālus novietoja tā, lai, skatoties gar augšējā lineāla malu, tie veidotu taisni. Izvēloties dažādus augšējā lineāla stāvokļus, Ptolemajs ieguva šādus rezultātus.

i	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
r	8°	$15^\circ 30'$	$22^\circ 30'$	29°	35°	$40^\circ 30'$	$45^\circ 30'$	50°
r'	$7^\circ 29'$	$14^\circ 51'$	22°	$28^\circ 45'$	$34^\circ 3'$	$40^\circ 30'$	$45^\circ 30'$	$47^\circ 36'$

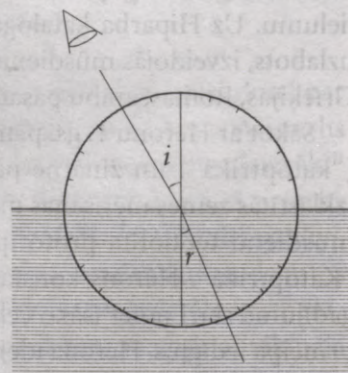
Apakšējā rindā dotas mūsdienās noteiktās laušanas leņķu vērtības. Pēc Ptolemaja datiem, $\sin i / \sin r$ nav konstants, bet gan atrodas robežās starp 1,25 un 1,34, un starpības starp divām blakus esošām r vērtībām veido aritmētisku progresiju. Pēc zinātnes vēsturnieka Mančestras universitātes profesora H. Lipsona domām, tas varētu būt izskaidrojams ar to, ka Ptolemajs, iespējams, nedaudz palabojis savu mērījumu rezultātus.

Ir ziņas, ka Ptolemajs miris 168. gadā. Ptolemaja galvenais darbs astronomijā ir "Astronomijas lielā matemātiskā koncepcija". Arābiskais šis grāmatas nosaukums ir "Almagest". Autors darbu sadalījis 13 grāmatās. Vēlāk darba pārrakstītāji sadalījuši katru grāmatu nodaļās, to skaits – 146. "Almagest" tulkojums angļu valodā aizņem vairāk nekā 600 parasta formāta lappušu. Grāmatā bagātīgi izmantota matemātika – iztirzāta sfēriskā trigonometrija, dotas trigonometrisko funkciju tabulas. Darbā izklāstīta Saules,



Ptolemaja ierīce Saules augstuma noteikšanai

Mēness un planētu kustības teorija, ievietotas Saules un Mēness aptumsumu tabulas, 1025 zvaigžņu stāvokļu katalogs. Autors darbā atsaucās uz priekštečiem, sevišķi uz Hiparhu. Līdz Kopernika grāmatas "Par debesu sfēru griešanos" iznākšanai "Almagest" bija nepārspēts visu astronomisko zināšanu izklāsts. Šim darbam bija liela praktiskā

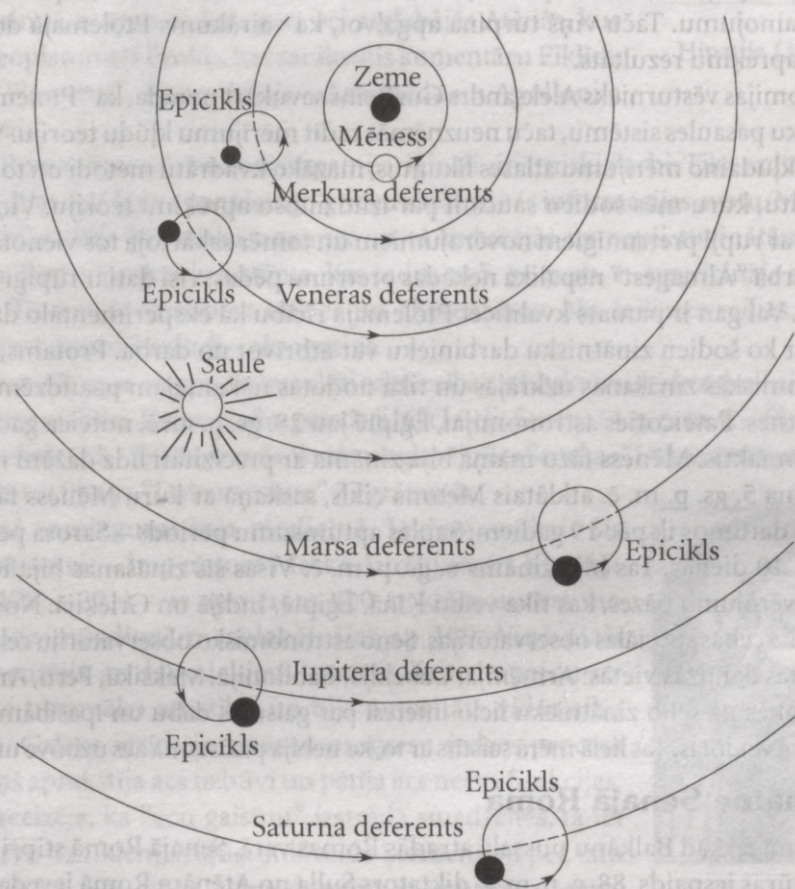


Ptolemaja ierīce staru krišanas un laušanas leņķu mērīšanai

nozīme jūrniecībā un ģeogrāfisko koordināšu noteikšanā, jo darbā “Almagest” debess ķermeņu redzamā kustība pie debesīm bija noteikta tik labi, ka kļuva iespējams paredzēt to turpmāko pārvietošanos.

Šajā darbā pirmo reizi vēsturē tika dots matemātiski pamatots dabaszinātniskas teorijas paraugs. Pēc Ptolemaja darbības astronomija uz ilgu laiku ieņēma galveno vietu starp citām zinātņu disciplinām. Taču tas nenozīmēja, ka atsevišķas Ptolemaja nostādes netiktu diskutētas un kritizētas.

Ptolemajs uzskatīja, ka, ja Zeme grieztos ap asi, tad, pateicoties centrālās efektam, kas bija pazīstams jau senatnē, Zeme sadalītos gabalos. Ja tā, tad Zeme ir nekustīga un



Ptolemaja pasaules uzbūves shēmā Zeme ir nekustīgu zvaigžņu sfēras centrs, katra planēta kustas pa riņķa līniju – epiciklu, kura centrs riņķo ap Zemi pa riņķa orbītu – deferentu. Šo divu kustību kombinācija dod šķietamo planētu pārvietošanos. Grieķu astronomi saprata, ka šāda sarežģīta shēma nebūtu vajadzīga, ja pieņemtu, ka Zeme griežas ap asi un riņķo ap Sauli. Ptolemajs rakstīja: “Ir cilvēki, kuri apgalvo, it kā nekas netraucē pieņemt, ka debesis ir nekustīgas, bet Zeme griežas ap savu asi no rietumiem uz austrumiem un ka tā izdara apgriezīgu katru diennakti. Patiesībā, runājot par spīdekļiem, nekas netraucē tā uzskatīt vienkāršības dēļ, ja ievēro tikai redzamo kustību.”

ap to kustas visas debesis. Bet tādā gadījumā, pēc Kopernika domām, debesis sabruktu vēl ātrāk, jo debess sfēra ar zvaigznēm ir daudz lielāka un centrālās debess efekts arī ir lielāks.

Diskusija par Ptolemaja lomu pasaules uzskatu veidošanā zinātnes vēsturnieku starpā turpinās vēl šodien. Amerikāņu zinātnes vēsturnieks R. Ņūtons darba "Klaudija Ptolemaja noziegums" anotācijā raksta: "Šajā grāmatā izklāstīta nozieguma vēsture attiecībā pret zinātņi. Es šeit domāju noziegumu, ko izdarījis zinātnieks pret saviem kolēģiem – zinātniekiem un skolniekiem, ētikas un savas profesijas tīrības nodevību, noziegumu, kas uz visiem laikiem laupīja cilvēcei pamatinformāciju, kura attiecas uz svarīgākajām astronomijas un vēstures nozarēm."

Taču savu kolēģu kritikas iespaidā Ņūtons vēlāk atteicās no lielas daļas pret Ptolemaju vērsto apvainojumu. Taču viņš turpina apgalvot, ka vairākums Ptolemaja doto novērojumu ir aprēķinu rezultāts.

Astronomijas vēsturnieks Aleksandrs Guršteins savukārt norāda, ka "Ptolemajs radīja ģeocentrisku pasaules sistēmu, taču neuzņēmas radīt mērījumu kļūdu teoriju. Viņš nezināja mūsu kļūdaino mērījumu atlases likumus, mazāko kvadrātu metodi un to matemātisko aparātu, kuru mēs šodien saucam par izlīdzinošo aprēķinu teoriju. Viņš atradās aci pret aci ar rupji pretrunīgiem novērojumiem un tomēr sakārtoja tos vienotā sistēmā, tādējādi darbā "Almagest" nepalika nekādas pretrunu pēdas: visi dati ir rūpīgi saskaņoti cits ar citu. Vai gan ir pamats kvalificēt Ptolemaja rīcību kā eksperimentālo datu pielāgošanu, par ko šodien zinātnisku darbinieku var atbrīvot no darba. Protams, nē."

Astronomiskās zināšanas uzkrājās un tika nodotas nākamajām paaudzēm jau kopš dziļas senatnes. Pateicoties astronomijai, Ēģiptē jau 28. gs. p. m. ē. noteica gada ilgumu 365, 25 diennaktis. Mēness fāzu maiņa bija zināma ar precizitāti līdz dažām minūtēm. Par to liecina 5. gs. p. m. ē. atklātais Metona cikls, saskaņā ar kuru Mēness fāzes iekrīt tajos pašos datumos ik pēc 19 gadiem. Saules aptumsumu periods – Sarosa periods – ir 18 gadi un 10 dienas. Tas bija zināms 6. gs. p. m. ē. Visas šīs zināšanas bija iegūtas uz daudzu novērojumu bāzes, kas tika veikti Ķīnā, Ēģiptē, Indijā un Grieķijā. Novērojumu veikšanai tika celtas speciālas observatorijas. Seno astronomisko observatoriju celtnu paliekas ir atklātas daudzās vietās: Armēnijā, Uzbekijā, Babilonijā, Meksikā, Perū, Anglijā u. c.

Neraugoties uz seno zinātnieku lielo interesi par gaismas dabu un īpašībām, optiskas ierīces netika veidotas. Tas lielā mērā saistīts ar to, ka nebija pazīstama acs uzbūve un darbība.

1. 4. Zinātne Senajā Romā

1. gs. p. m. ē., kad Balkānu pussala atradās Romas varā, Senajā Romā stipri izpaudās grieķu kultūras iespaids. 88. g. p. m. ē. diktators Sulla no Atēnām Romā ievada grāmatu kolekcionāra Apelikona bibliotēku, kurā bija arī Aristoteļa darbi. Tas stimulēja intereses atdzimšanu par Aristoteļa un viņa skolas filozofiskajiem un dabaszinātniskajiem uzskatiem. Tiranions un Androniks Rodoskis piešķīra Aristoteļa sacerējumiem to veidu, kādā tie turpmāk tika iepazīti un komentēti.

Pēc Hērona un Ptolemaja darbības iestājās fizikas noriets un radās tikai atsevišķi darbi matemātiskā. Te var minēt Teona darbu "Par matemātikas zināšanām, kas nepieciešamas Platona lasīšanai" 2. gadsimtā, Diofanta grāmatu "Aritmētika" 3. gadsimtā un Aleksandrijas Pappa "Matemātikas rokasgrāmatu" 3. – 4. gadsimtā. Aleksandrijas Pappa

darbs veltīts aritmētikai, ģeometrijai, astronomijai un Apollonija darbu komentēšanai. Apollonijs (3. gs. p. m. ē.) bija Aleksandrijas skolas pārstāvis. Viņa nozīmīgākais darbs "Koniskie šķēlumi" atstāja lielu iespaidu uz optikas turpmāko attīstību. Hipatijas nāve 415. gadā simbolizēja Aleksandrijas zinātniskās skolas beigas. Hipatija no Aleksandrijas (370–415) bija sieviete pasniedzēja Aleksandrijas muzejā. Hipatijas darbi matemātikā, astronomijā un filozofijā līdz mūsdienām nav saglabājušies. Pati Hipatija kļuva par kristiešu reliģiska fanātisma upuri: pēc bīskapa Kirila kūdišanas viņu saplosīja pūlis.



Hipatija (370 – 415)

5. gadsimtā matemātiskais gars vēl saglabājās Atēnās, kur dzīvoja neoplatonists Prokls, kas sarakstījis komentāru Eiklīda darbam "Elementi", un Jevdokijs – Arhimēda un Apollonija komentētājs.

Senās Romas literatūrā nav sastopami oriģināli zinātniski darbi. Tika radītas daudzas enciklopēdijas, kas kļuva par vienīgo grieķu zinātniskās informācijas avotu. Matemātikai un mehānikai bija praktiska nozīme, un tā reducējās uz rupji tuvinātām aprēķinu metodēm. Romiešu skaitļu sistēma, kas radusies 5. gs. p. m. ē., neveicināja aritmētikas attīstību. Tā spieda izmantot tāfeles un akmentiņus. No šejienes radies jēdziens – kalkulācija. Latīniski *calculi* – akmentiņi.

Vairākums Romas autoru darbu veltīti celtniecībai, arhitektūrai, hidrotehnikai, zemes ierīcībai un kara mākslai. Dabas zinību pārstāvji bija Lūcijs Seneka (4. g. p. m. ē. – 65. g. m. ē.) un Plīnijs Vecākais (23–79). Līdz mūsdienām saglabājušies Senekas "Dabas zinātņu jautājumi" 7 grāmatās un Plīnija "Dabas vēsture" 37 grāmatās.

Zināmi sasniegumi bija medicīnā. Ievērojamākais šīs nozares pārstāvis – imperatora Marka Aurēlija ārsts Klaudijs Galēns (129–201) – ir apmēram 400 traktātu autors, no kuriem līdz mūsdienām saglabājušies ap 100. Viņš plaši eksperimentēja ar dzīvniekiem, atstājis lielu iespaidu uz medicīnas turpmāko attīstību un bija autoritāte viduslaiku medicīnā. Galēns iezīmēja zināmu progresu redzes procesa izpētē, viņš aprakstīja acs uzbūvi un pētīja acs nerva funkcijas. Galēns precizēja, ka "acu gaismu" izstrādā smadzenes, tā iet pa acs nervu uz tikleni, izkļūst stiklveida ķermenī un pēc tam nonāk acs lēcā, kas, pēc Galēna domām, ir uztveres orgāns. No šā brīža redzes procesu sasaista ar acs uzbūvi. Tiklenes loma redzes procesā vēl netiek izprasta.



Galēns (129 – 201)

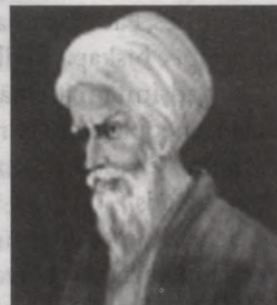
1. 5. Optika viduslaikos

Optisko pētījumu attīstību viduslaikos var iedalīt divos etapos. Pirmais etaps (9. – 11. gs.) saistīts ar arābu pasauli, kas veiksmīgi pārmantoja grieķu zinātnieku darbu rezultātus. Šajā periodā galvenie darbi optikā piederēja arābu zinātniekiem. Arābu zinātnieku jaunrades sākums sakrita ar plašu Āzijas, Āfrikas un Eiropas teritoriju

iekarošanas laiku, kas sekoja plašai islama izplatībai arābu pasaulē. Arābi tūlīt pieņēma antikās zinātnes sasniegumus. 8. gadsimtā arābu kalifu galmos radās akadēmijas, kurās zinātnieki nodarbojās ar antīko sacerējumu tulkošanu arābu valodā. 9. gadsimtā arābu zinātnieki jau guva oriģinālus rezultātus dažās zinātnes nozarēs, sevišķi astronomijā.

Vēlāk – otrajā etapā (12. – 13. gs.) – zinātniskie pētījumi “pārvietojās” uz Eiropu. Šeit feodālā sabiedrībā zinātne, tajā skaitā fizika, atradās stiprā teoloģijas iespaidā. Pozitīvais bija tas, ka amatniecības uzplaukums viduslaikos radīja labvēlīgākus apstākļus eksperimentālās zinātnes attīstībai.

Spilgtākā personība viduslaiku zinātnē ir arābu zinātnieks Ibn al Haitana jeb latīniskojot Alhazens (965 – 1039). Alhazena darbos liela nozīme veltīta fluīdam, kas nāk no Saules, bet netiek izmantots fluīds “acu gaisma”. Savā pirmajā postulātā viņš apgalvo: “Dabiskā gaisma un krāsu stari iedarbojas uz acīm.” Apgalvojumu viņš pamato ar novērojumu, ka acis izjūt sāpes, ja tajās nokļūst Saules gaisma. Ar dabisko gaismu viņš saprot balto Saules gaismu, bet ar krāsu stariem – gaismu, kas atstarojas no krāsainiem priekšmetiem. Ar eksperimentu palīdzību viņš parāda to uzskatu kļūdainību, kuri pieļauj acs spēju izstarot gaismu.



Alhazens (965 – 1039)

Alhazens pētīja redzes procesu, bez izmaiņām pieņemot Galena doto acs uzbūvi. Viņš rakstīja: “Redzes tēls rodas ar staru palīdzību, ko izstaro redzami ķermeņi un kas nonāk acīs.” Senajā Grieķijā valdīja uzskats, ka redzes sajūta ir process, kurā visu priekšmetu uztver vienlaikus. Alhazens šo procesu sadalīja bezgalīgi daudzos elementāros procesos, norādot, ka katram priekšmeta punktam atbilst uztverošs punkts uz acs lēcas priekšējās virsmas. Nenoskaidrots paliek jautājums, kāpēc Alhazens neturpināja aplūkot gaismas staru aiz acs ģeometriskā centra līdz tiklnei, kur faktiski veidojas attēls. Viņš taču zināja acs uzbūvi un tiklenes nervu dabu. Domājams, ka viņu baidīja šā procesa sekas. Ja stars ietu cauri acs centram, tad uz tiklenes veidotos apgriezts attēls un būtu jāatbild uz jautājumu, kāpēc pasauli redzam tiešu.

Alhazens eksperimentēja ar tumšo kameru (*camera obscura*, kas tulkojumā no latīņu valodas nozīmē tumšā istaba) un svecēm, tātad noteikti novēroja apgrieztu attēlu, kaut arī par to nerunāja. Vienīgi Leonardo da Vinči (1452 – 1519) no šā eksperimenta izdarīja secinājumus par redzes mehānisma būtību. Viņš aprakstīja tumšo kameru, atzīmējot, ka attēls ir apgriezts, un secināja: “Tas pats notiek arī acī.” Alhazens pirmais izmantoja debess juma spožuma izmaiņas krēslas stundās, lai pētītu pašu atmosfēru. Alhazens ievēroja, ka laikā, kad iestājas krēsla, zemes ēna paceļas arvien augstāk. Nakts iestājas tikai tad, kad visa atmosfēra atrodas tumsā. Izmērot krēslas iestāšanās ilgumu (t. i., Saules nogrimšanas dziļumu aiz horizonta uz dienas un nakts robežas), Alhazens novērtēja Zemes atmosfēras augstumu 52 000 soļu (30 – 35 km). Šis vērtējums kopumā atspoguļo īstenību, jo, pēc jaunākiem mūsdienu datiem, virs šā līmeņa atrodas ~ 1/1000 no visa gaisa masas.

Alhazens aplūkoja plakanus, sfēriskus, cilindriskus un koniskus spoguļus un formulēja pazīstamo Alhazena uzdevumu: dotajam spoguļa, punktveida gaismas avota

un acs stāvoklim atrast spoguļa punktu, kur notiek atstarošāns. Ar šo uzdevumu nodarbojušies matemātiķi vairāku gadsimtu garumā, bet tikai 1676. gadā holandiešu fiziķis K. Heigenss (1629 – 1695) tam atrada ģeometrisku risinājumu. 1776. gadā matemātiķis Kestners (1719 – 1800) formulēja analītisku risināšanas metodi ar ceturtās kārtas vienādojumu.

Alhazena darbi 12. gadsimtā tulkoti arī latīņu valodā. Taču šajos darbos izteiktās atziņas neguva atsaucību. Arī redzes teorijā viduslaikos populārāka bija tēlu hipotēze.

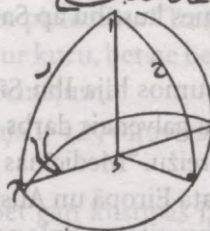
Daudz uzmanības Alhazens veltīja optiskām ilūzijām. Neraugoties uz interesantiem novērojumiem fizioloģiskajā optikā, Alhazena grāmata izdrija arī sliktu pakalpojumu fizikai, jo pastiprināja mistiska rakstura novirzienu, kas bija manāms vēl Galileja laikā. Tas mācīja neuzticēties maņu orgāniem: "Tik viegli ir pieņemt jāntārpiņu par lukturi," rakstīja Alhazens. Alhazens dzīvoja un strādāja Ēģiptē; mira Kairā 1039. gadā.



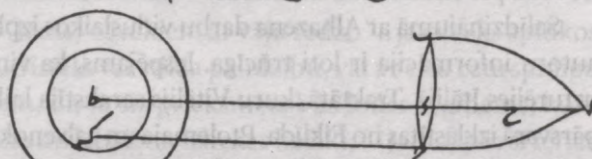
Birunī (973 – 1048)

كما الفصل المشترك بينه وبين السطح المقعر هو خط أبجد وقد كان الفصل المشترك بين السطح الذي انطبق عليه وصار ممكنا سطحاً واحداً وبين السطح المقعر هو خط آح هـ فطاب جـ ينطبق على خط آح هـ ويكونان خطاً واحداً ويصير للسطح كله مساوياً للسطح المقعر هـ هو قطع مكافئ مساوٍ لقطع أب د وسهمه أ د وذلك ما اردنا ان نبينه

الكل سطح مقعر بتغير الجسم المكافئ فيحصل من طرف سهمه مثل ربع الضلع القائم للقطع الذي احده هـ فان كل خط يخرج موازاً للسهمه وينتهي الى السطح المقعر وينعطف الى تلك النقطة فانه يحيط مع الخط المماس للسطح المقعر

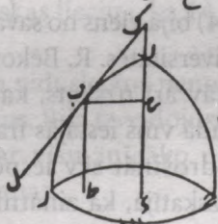


الجميع بسيط السطح البرزخي على خطوط متوازية للسهمه فاقول ان جميعها ينعكس الى نقطة حـ لان سطح ا ب سطح مقعر بتغير الجسم المكافئ



يكون جميع الخطوط الموازية لسهمه اذا انتهت اليه وانعكست الى نقطة حـ احاطت مع المنعطف المستقيمة التي يخرج في سطحها ماسة للسطح المقعر بزوايا

خطا ط ب ب ح يحيطان مع خط ك ب ل بزوايتين متساويتين كما بين فيما تقدمه في خطا ط ب ب ح يحيطان مع الخط المماس للسطح المقعر الذي هو الفصل المشترك بين سطح خطي ط ب ب ح وبين السطح المماس للسطح المقعر بزوايتين متساويتين وكذلك يتبين ان كل خط يخرج موازاً للسهمه وينتهي الى السطح المقعر وينعكس الى نقطة حـ يكون هذا حاله وذلك ما اردنا ان نبينه هـ كل سطح مرآة مقعر بتغير الجسم المكافئ يعاين به جزء الشمس حتى يكون سهمه سامتاً لجزءها فانه يخرج من جزء الشمس الى جميع بسيطه نعاان ينعكس كلها الى نقطة واحدة على سهمه ويكون بعدها



Fragments no Alhazena rokraksta. Alhazens darbā "Optika" iztīrāja staru atstarošanas un laušanu

Vienlaikus ar Alhazenu fizikālus pētījumus veica Birunī. Viņš izdrija visai precīzus metālu un citu vielu īpatnējo svaru mērījumus, astronomiskus novērojumus un ģeogrāfiskus mērījumus. Birunī noteica ekliptikas un ekvatoriālās plaknes nolieces leņķi 1020. gadam, iegūstot vērtību $23^{\circ}34'0''$. Pēc

mūsdienu aprēķiniem, tas ir $23^{\circ}34'45''$. Birunī noteica Zemes rādiusu 6490 km, kā arī novēroja un aprakstīja Mēness krāsas izmaiņas aptumsuma laikā un Saules koronu. Zinātnieks izteica domu par Zemes kustību ap Sauli un uzskatīja ģeocentrisko teoriju par visai nepārliecinošu.

Aristotelisma pārstāvis Austrumos bija Ibn Sīna jeb Avicenna (980 – 1037), kurš dzīvoja Irānā un Vidusāzijā. Viņa galvenais darbs ir “Medicīnas zinātnes kanons”, kas latīņu valodā izdots apmēram 30 reizi. “Medicīnas zinātnes kanons” vairākus gadsimtus bija obligāta medicīnu rokasgrāmata Eiropā un Austrumu valstīs.

Šajā laikā veidojās pirmās universitātes. Boloņas universitāte Itālijā oficiāli dibināta 1158. gadā, taču kā mācību iestāde tā kļuva slavena jau ap 1100. gadu. Pazīstama bija arī Parīzes universitāte (1215). Pēc Boloņas un Parīzes universitāšu parauga tika dibinātas universitātes Itālijas pilsētās Padujā (1222), Neapolē (1224) un Romā (1303), bet Anglijā – Kembridžā (1209) un Oksfordā (1229). Laikā no 1125. līdz 1280. gadam Spānijā un Itālijā tulkoja Aristoteļa, Eiklīda un Ptolemaja darbus. Šo darbu vienpusēja interpretācija noveda pie sholastikas attīstības.

Salīdzinājumā ar Alhazena darbu viduslaikos izplatītāks bija Vitēlija traktāts optikā. Par autoru informācija ir ļoti trūcīga. Iespējams, ka viņš bija poļu izcelsmes fiziķis, kurš ilgi uzturējies Itālijā. Traktātā, kuru Vitēlijs sarakstīja laika periodā no 1270. līdz 1278. gadam, pārsvarā izklāstītas no Eiklīda, Ptolemaja un galvenokārt no Alhazena aizgūtās idejas. Vitēlija traktāts diemžēl tika publicēts tikai 1533. gadā, t. i., divarpus gadsimtus pēc tā tapšanas. Vitēlija darbā bija arī daži jauni atzinumi.

- Viņš pierādīja, ka paraboliskā spoguļi stari koncentrējas vienā punktā (fokusa jēdzienu ieviesa Keplers 1604. gadā).
- Rūpīgi izpētot varavīksni, secināja, ka tās rašanos nevar izskaidrot tikai ar atstarošanas ūdens pilienos, jāievēro arī Saules staru laušana.

Rodžers Bēkons (ap 1214 – 1294) bija viens no sava laikmeta izglītotākajiem cilvēkiem, mācījies Oksfordas un Parīzes universitātēs. R. Bēkons dzimis Somersetas grāfistē Anglijā. Pastāv arī uzskats, ka viņš pēc tautības ir bijis francūzis. 1250. gadā viņš iestājās franciskāņu ordenī, cerēdams tādā veidā nodrošināt sev iespējas veikt zinātniskus pētījumus. Bēkons uzskatīja, ka zinātni nedrīkst reducēt uz autoritāšu izteiktiem viedokļiem. Zinātne ir jābalsta uz stingriem argumentiem un precīziem eksperimentiem. Tādēļ viņš kritizēja aizraušanos ar Aristoteļa grāmatām, kuru saturs paviršo tulkotāju dēļ bieži bija izkropļots. Bēkona domas patstāvība un viņa nepiedalīšanās sholastiskajos strīdos izraisīja pārējo neapmierinātību. Viņu apvainoja ķecerībā un apcietināja. Pāvests Klements IV panāca Bēkona atbrīvošanu, taču drīz viņš atkal tika apcietināts un atradās ieslodzījumā līdz 1288. gadam. Cietumā Bēkons pavadīja vairāk nekā 20 gadu.



R. Bēkons
(ap 1214 – 1294)

Leģendas viņam piedēvē visdažādākos izgudrojumus: pulveri, lēcu, tālskati, kompasu, tvaika mašīnu u. c. Bēkonu uzskata par eksperimentālās metodes ciltstēvu fizikā, bet

viņš arī atzīst, ka “nekādu zinātņi nevar izziņāt bez matemātikas”. Neraugoties uz to, Bēkonam bija raksturīga aizraušanās ar fantastiskām idejām. Bēkona darbi “Lielais sacerējums”, “Mazais sacerējums” un pielikums “Trešais sacerējums” lielā mērā veltīti optikai – “filozofijas krāšņumam, caur kuru, bet ne bez tās līdzdalības, var izziņāt visas citas zinātnes”. Svarīgākie Bēkona secinājumi:

- varavīksnes augstums virs apvāršņa ir 42° , varavīksnes krāsas ir subjektīva parādība, kas atkarīga no acs mitruma,
- gaisma nav daļiņu izstarošana, bet gan kustības izplatīšanās; gaismas izplatīšanās ātrums ir galīgs,
- sfērisku spoguļu dažādās zonas koncentrē Saules starus dažādās vietās (tas ir aizsākums kaustikas izpētei; šis fakts sarežģīja un aizkavēja optikas progresu. Kaustikas izpēti veica matemātiķi tikai 18. gadsimtā),
- paraboliskiem spoguļiem ir viens fokuss,
- lēcu var izmantot sīku priekšmetu novērošanai.

Viņš ieteica izmantot šos stikliņus (lēcas) cilvēkiem ar vāju redzi: “.. ja cilvēks aplūkos burtus vai citus sīkus priekšmetus ar kristāla vai stikla palīdzību, vai ar citu caurspīdīgu priekšmetu, kas novietots virs burtiem, un ja šis priekšmets būs lodes segments, kura izliekums vērsts pret aci, tad burti redzami labāk un izliekas lielāki, (...) un tāpēc šī ierīce lietderīga vecākiem ļaudīm ar vāju redzi, jo tad viņi var redzēt pat mazu burtu pietiekami lielu.” Tā ir viena no pirmajām, ja ne pati pirmā rakstītā liecība par lēcas izmantošanu. Bēkons vienu lēcu ir dāvinājis pāvestam Klementam IV ar lūgumu mēģināt to izmantot.

Stikla lodīšu īpašību dot palielinājumu novēroja jau Alhazens, lai gan staru laušanu neaplūkoja. Viņš to uzskatīja par optisku ilūziju. Iespējams, ka palielināmie stikliņi bija pazīstami amatniekiem, kas izgatavoja stikla diskus vitrāžām. Pirmās brilles, iespējams, radās 13. gadsimtā. Gleznas un freskas liecina, ka 14. gadsimta vidū brilles jau bijušas stipri izplatītas.

Pēc Vitēlija un Bēkona darbiem viduslaikos nenotika sistemātiski pētījumi optikā, izņemot dažus praktiskus lietojumus. Bija izveidojusies neuzticība skaidrojumiem par redzes uztveri. Redzi uzskatīja par vismānīgāko no maņām. Tas arī atturēja daļu zinātnieku no savu darbu publicēšanas.

1. 6. Optika renesanses periodā

S. Vavilovs par optikas stāvokli viduslaikos rakstīja: “Brilles, neraugoties uz to praktisko svarīgumu un pārsteidzošo lomu 14. un 15. gadsimta cilvēkam, nekļuva par optikas tālākās attīstības pamatu. Alhazena, Vitēlija, Bēkona grāmatas mierīgi dusēja klosteru un universitāšu bibliotēkās, ievērojami ļaudis vecumā uzlaboja savu redzi ar brillēm, bet optikas zinātne 14. un 15. gadsimtā stāvēja uz vietas.”

Feodālisma norieta un sabrukuma periods iezīmējās ar manāmu zinātnes uzplaukumu. Atbrīvojusies no teoloģijas un filozofijas kundzības, strauji attīstījās eksperimentālā fizika. Optikas pavērsiens praktiskā virzienā notika 15. gadsimtā, lielā mērā pateicoties Leonardo da Vinči darbībai, kuras galvenie virzieni bija šādi:

- tika ieteikta darbagalda konstrukcija ieliektu sfērisku spoļu slīpēšanai un aprakstīta parabolisku spoļu izgatavošana (1509),
- izstrādāta brillu stiklu slīpēšanas tehnoloģija,
- pētītas sfērisku ieliektu spoļu aberācijas,
- aplūkota staru gaita tumšajā kamerā un acī,
- pētīta acs akomodācija un adaptācija,
- veikti fotometrijas eksperimenti, salīdzinot gaismas avotus,
- aplūkots jautājums par tālu priekšmetu novērošanu, taču nav pierādījumu, ka būtu izgudrots vai izmantots tālskatis.



Leonardo da Vinči
(1452 – 1519)

Leonardo da Vinči izgudroja metodi acs anatomijas pētīšanai.

Acs tika ievietota olbaltumā un nostiprināta, to vārot. Šādā veidā sagatavotu paraugu pārgriežot, var noskaidrot acs uzbūvi. Taču vārišanas procesā acs lēca kļuva sfēriska. Tādēļ Leonardo da Vinči uzskatīja, ka acs lēca ir nevis abpusēji izliekta lēca, bet gan sfēra, kas novietota acs centrā. Šis pieņēmums izraisīja nākamo kļūdu, secinot, ka šajā sfērā attēls tiek apgriezts otrreiz. Pirmoreiz attēlu, pēc Leonardo da Vinči domām, apgriez varavīksnenē.

Viduslaikos pēc Leonardo da Vinči darbiem optikā nenotika kaut cik sistemātiski pētījumi. Nedaudz labāks stāvoklis bija izveidojies astronomijā, kur ar nelieliem pārtraukumiem turpinājās novērojumi.

Ar šo periodu saistīta pēdējā ievērojamākā Austrumu zinātnieka Muhameda Ulugbeka (1394 – 1449) darbība. Ulugbeks bija uzbeku astronoms un matemātiķis, Timura mazdēls. Ulugbeks 1409. gadā tika pasludināts par Samarkandas valdnieku. Viņš uzaicināja Samarkandā tā laika slavenākos zinātniekus un ar to palīdzību oāzē Amudarjas krastā ap 1430. gadu uzbūvēja observatoriju. Pēc materiālā nodrošinājuma un zinātniskajiem rezultātiem tai nebija līdzīgas – tā bija viena no viduslaiku lielākajām observatorijām. Ulugbeka zinātniskā un izglītības darbība nebija pa prātam musulmaņu garīdzniecībai un reakcionārajiem feodāļiem. Ulugbeku apvainoja ķecerībā. Viņu nonāvēja, bet observatorija tika sagrāuta. Tās paliekas atklāja 1908. gadā, bet pilnīgi atraka tikai 1948. gadā. Svarīgākais observatorijā veiktais darbs “Jaunās astronomiskās tabulas” saturēja astronomijas teorētisko pamatu izklāstu un 1018 zvaigžņu stāvokļu katalogu, kas pirmo reizi pēc Hiparha bija noteikti ar tik lielu precizitāti, ka to pārspēja tikai Tiho Brahe.



Ulugbeks (1394 – 1449)

Pēc nepilniem simt gadiem astronomisko pētījumu centrs pārvietojās uz Poliju, Fromborku Baltijas jūras piekrastē. 1512. gadā Koperniks pārcēlās uz Fromborku, kur cietokšņa sienas tornī apmetās uz dzīvi un iekārtoja observatoriju. Šī observatorija saglabājusies līdz mūsdienām. Fromborkā Koperniks izpildīja kapitula kanoniķa pienākumus un vienlaikus nodarbojās ar savas heliocentriskās sistēmas izstrādi. Šim darbam tika veltīti 30 gadu.

120 Nikolajs Koperniks (1473 – 1543) dzimis Polijā, Toruņā pie Vislas. Izglītību guvis Krakovas universitātē, kas dibināta 1364. gadā un bija viena no visjaunākajām Eiropas universitātēm. Vēlāk Koperniks mācījies Boloņā, Romā un Padujā. Kopumā Koperniks Itālijā bija pavadījis 9 gadus un apguvis enciklopēdiskas zināšanas astronomijā, matemātikā un medicīnā.

121 Ap 1515. gadu Koperniks uzrakstīja darbu “Mazais komentārs”, kurā īsā formā izklāstīja heliocentriskās sistēmas būtību. Kopernika autoritāte tajā laikā jau bija tik liela, ka viņš no kalendāra reformas komisijas priekšsēdētāja saņēma lūgumu izteikt savas domas par reformu. Pēc kalendāra, ko 46. gadā p. m. ē. ievada Jūlijs Cēzars (100. – 44. g. p. m. ē.) un kas tika uzlabots 325. gadā, pieņēma, ka gads ir vienlīdzīgs 365,25 diennaktīm. Patiesais gads ir 365,2422 diennaktis ilgs. Atšķirība ir 11 minūtes. Tādējādi 128 gadu laikā patiesais gads sākas par vienu diennakti ātrāk nekā kalendārais. Periodā no 325. gada līdz 16. gadsimta sākumam atšķirība jau bija 9 diennaktis.

122 Koperniks atbildēja, ka uzskata reformu par priekšlaicīgu, jo vispirms nepieciešams būtiski precizēt Saules un Mēness kustību attiecībā pret zvaigznēm. Tas liek domāt, ka jau 1514. gadā Koperniks strādājis pie heliocentriskās sistēmas izveides.

123 Koperniks tāpat kā Eratostens uzskatīja, ka Zeme ir apaļa. Koperniks norādīja, ka tikai gadījumā, ja Zemei ir lodes forma, pārvietojoties dažādos virzienos par vienu un to pašu attālumu, novērojamas vienādas debess spīdekļu augstuma izmaiņas. Tāpat, attālinoties kuģim jūrā, novērotājam krastā vispirms izzūd kuģa korpuss, bet pēc tam pakāpeniski arī masts.

124 Koperniks ir modernās astronomijas pamatlicējs. Atšķirībā no antikās pasaules pārstāvjiem, kas debesķermeņu redzamo kustību uzskatīja par neapstrīdamu patie-



Nikolajs Koperniks
(1473 – 1543)



Kopernika zīmējums, kas attēlo pasaules uzbūvi

sību, Koperniks konstatēja, ka ne katra šķietamā kustība ir patiesa un ka ne katra patiesa kustība ir pamanāma. Norvēģu polārpētnieks Fritjofs Nansens (1861 – 1930) rakstīja: “Kad Koperniks pieķērās pasaules centram un aizsvieda Zemi pasaules telpā orbītā ap Sauli, notika liela cilvēces domas revolūcija. Viduslaikos Visuma centrs bija Zeme un cilvēks. Tagad kļūvām tikai par pasaules kustības nelielu posmu.”

Kopernika darbs “Par debesu sfēru griešanos” iznāca 1543. gada maijā. Saskaņā ar nostāstiem pats Koperniks sava ģeniālā darba eksemplāru ieguva savas nāves dienā 1543. gada 24. maijā neilgi pirms brīža, kad viņš uz mūžu aizdarīja acis. Katoliskā baznīca sākumā nenovērtēja šā darba revolucionāro raksturu. Tikai 1616. gadā tika pieņemts lēmums par Kopernika darba aizliegšanu. Lēmumā sacīts: “Mācība, ka Saule atrodas pasaules centrā un ir nekustīga, ir melīga un aplama, ķecerīga un pretēja Svētajiem Rakstiem. Bet mācība, it kā Zeme neatrodas pasaules centrā un kustas, turklāt apveltīta ar diennakts griešanos, melīga un aplama no filozofiskā redzes viedokļa, bet no teoloģiskā – vismaz kļūdaina.”

Sākotnējā teologu iecietība, pēc amerikāņu astronomijas vēsturnieku O. Gingeriča un B. Raitsmena domām, daļēji skaidrojama ar to, ka vēl pusgadsimtu pēc Kopernika nāves Kopernika lasītājiem trūka “revolucionāra pacēluma”. Ir arī zināms, ka Kopernika teorija savā sākotnējā veidā precizitātes ziņā atpalika no Ptolemaja modeļa. Lai precizitātes ziņā līdzinātos Ptolemajam, Kopernikam bija nepieciešams saglabāt vairākus arhaiskus elementus: dažus mazos epiciklus un ekscentriķus. Sākumā Kopernika teorijai bija maz sekotāju ne tikai tāpēc, ka tā bija pretrunā ar baznīcas dogmām. Svarīgs bija apstāklis, ka Koperniks nevarēja pamatot savu sistēmu uz optisko novērojumu bāzes. Venerai vajadzēja novērot fāzes tāpat kā Mēnesim, bet zvaigznēm jāuzrāda paralaktiskā novirze. Šos efektus nevarēja konstatēt laikā, kad vēl nebija izgudrots tālskatis.

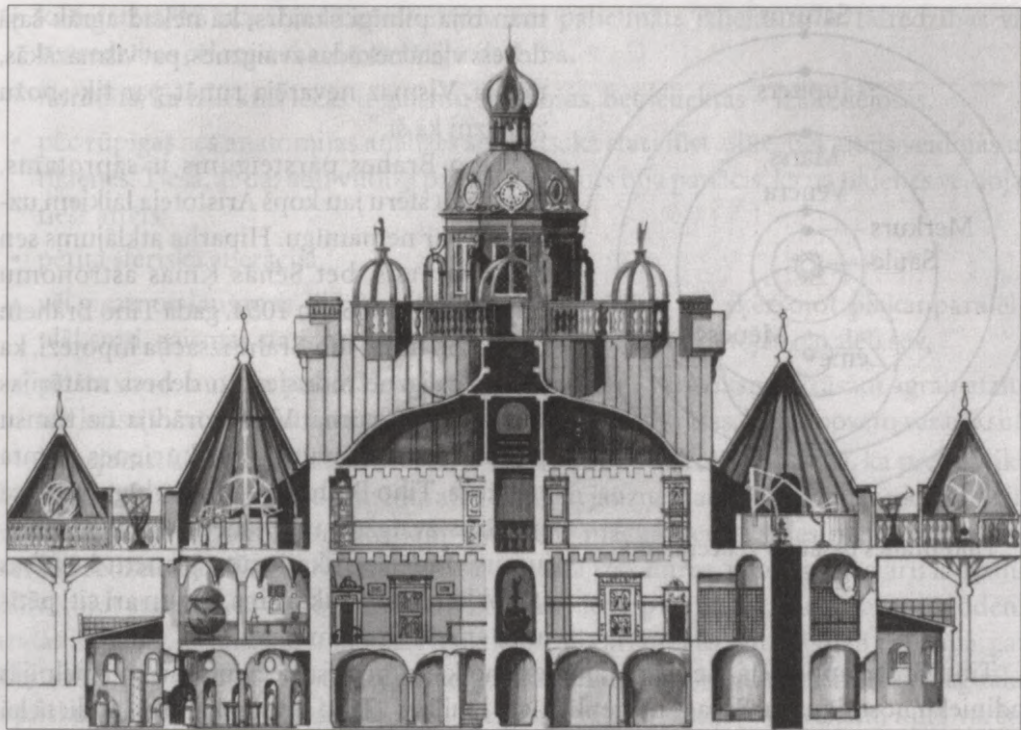
Pēc Kopernika nāves Fromborkas zinātniski pētnieciskais centrs zaudēja savu nozīmi. Dažus gadus vēlāk šis centrs pārvietojās uz Vena salas Zunda šaurumā. Pēc slavenā dāņu astronoma Tiho Brahes (1546 – 1601) iniciatīvas 1576. gada 8. augustā sākās observatorijas celtniecība. Karalis Frīdrihs II izveidoja Eiropā pirmo lielo observatoriju, ieguldot šajā pasākumā tik daudz līdzekļu, kas pietiktu arī mūsdienīgas observatorijas izveidei. Tā bija pirmā celtne Eiropā, kas bija paredzēta speciāli astronomijai. Savu observatoriju Tiho nosauca sengrieķu mūzas Urānijas vārdā par Uraniborgu.

Tiho Brahes dzīve bija notikumiem bagāta. Viņš piedzima Skandināvijas pussalas dienvidos Knudstrupa pīlī. Viņa tēvs – Oto Brahe – ieņēma augstus amatus karaļa galmā. Tiho tēvocis – Jergens Brahe – bija karaļa flotes admirālis. Jergenam nebija bērnu, taču brāļi bija vienojušies, ja Oto ģimenē piedzims dēls, tad to atdos Jergenam. Admirālim bija vajadzīgs viņa lielā īpašuma mantinieks. Kad Tiho piedzima, Oto atteicās izpildīt vieglprātīgo solījumu. Admirālis nebija radis atkāpties. Izmantojot gadījumu, kad vecāki nebija mājās, viņš nozaga Tiho un nocietinājās vienā no savām pilīm.

Vecāku sašutums bija liels. Jergena pīlī ielenca, taču ieņēmt to neizdevās. Drīz Oto ģimenē piedzima otrs dēls (pavisam



Tiho Brahe (1546 – 1601).
Dž. de Geina gravūra



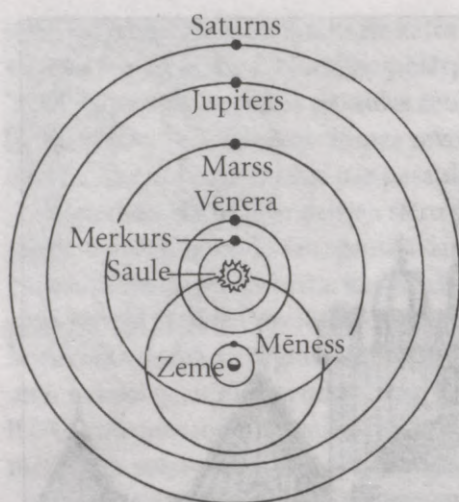
Tiho Brahes observatorija Uraniborgā (1598. gada gravīra)

viņiem bija desmit bērnu), un brāļu starpā iestājās miers. Tiho palika pie tēvoča. Audžuvecāki viņu lutināja. Tiho auga patstāvīgs un stūrgalvīgs. Viņu gatavoja jurista karjerai, taču notika savādāk.

Reiz izjādes laikā, jājot pāri tiltam, karaļa zirgs izbijās un iesvieda jātnieku upē. Karalis neprata peldēt, bet galminieki bija apjukuši. Pirmais atpazis admirālis un metās karali glābt. Karali izglāba, bet pelde ledainajā ūdenī 60 gadus vecajam Jergenam beidzās ar plaušu karsoni un drīzu nāvi. 18 gadus vecais Tiho kļuva par ievērojama mantojuma īpašnieku. Viņš iegādājās grāmatas, astronomiskos instrumentus un daudz ceļoja.

1566. gadā Tiho devās uz ārzemēm, lai turpinātu mācības. Kādā saviesīgā pasākumā viņam radās domstarpības ar savu tautieti citu studentu. Biogrāfi apgalvo, ka strīds nav radies kādas meitenes dēļ, bet gan par zinātnisku jautājumu. Divkaujas laikā Tiho zaudē daļu deguna. Visu turpmāko dzīvi viņam nācās izmantot sudraba protēzi un kabatā nēsāt līmes kārbīņu. Līme bija nepieciešama protēzes ieziešanai, lai tā nenokristu.

1571. gadā Tiho atgriezās Dānijā un nodarbojās ar saimniecību un alķīmiju, cenšoties iegūt zeltu. 1572. gada 11. novembrī atgadījās notikums, kas Tiho pilnīgi pievērsa astronomijai. Kasiopejas zvaigznājā viņš ievēroja spožu nepazīstamu zvaigzni. Tā spožumā varēja sacensties ar visspožākajām planētām. Tiho rakstīja: "Vakarā pēc saulrieta, kad saskaņā ar manu paradumu es skaidrās debesīs vēroju zvaigznes, ievēroju, ka gandrīz tieši virs manas galvas mirdzēja jauna neparasta zvaigzne, kas spožumā pārspēja visas pārējās zvaigznes. Tā kā es kopš bērnības zināju visas debesjuma zvaigznes,



Tiho Brahes pasaules ģeocentriskā sistēma

Tiho Brahe apprecēja vienkāršu meiteni no kaimiņos esošā ciema, ar ko izpelnijās radnieku nosodījumu. Savas “nevienlīdzīgās laulības” Tiho Brahe skaidroja šādi: tā kā viņš jaunībā duelī zaudējis degunu, tad neuzskata par iespējamu laulību ar augstdzimušu meiteni. Kāds no Tiho biogrāfiem rakstījis, ja tā arī nav taisnība, tad vismaz labi izdomāts. Pastāv arī cits viedoklis. Laulība ar vienkāršu meiteni viņu atbrīvoja no augstākās sabiedrības pasākumiem, un viņš varēja vairāk laika veltīt astronomijai.

Tiho Brahe ieteica savu pasaules ģeocentrisko sistēmu, kas bija Ptolemaja un Kopernika sistēmas kombinācija. Pēc Tiho Brahes ieskatiem, Saule riņķo ap nekustīgu Zemi, bet pārējās planētas – ap Sauli. Tagad šai hipotēzei ir tikai vēsturiska nozīme.

1597. gadā Brahes auglīgā darbība Vēna salā beidzās. Jaunais Dānijas karalis – “tuvredzīgais” Kristiāns IV – astronomiju neatbalstīja un pat aizliedza nodarboties ar to kā zinātnei, jo tā nedod ienākumus karaļa kasei. Karaļa piekritēji sāka slavenu astronomu visādi pazemot. Galma intrigu dēļ Tiho Brahe bija spiests pamest Dāniju. 1599. gadā viņš ieguva galma astronoma un matemātiķa vietu Rūdolfa II galmā Prāgā. Pārstāja eksistēt arī Uraniborgas observatorija, tā tika nodedzināta kara laikā. Ugunsgrēkā bojā gāja arī Kopernika instrumenti un Kopernika portrets.

Nozīmīgu ieguldījumu optikas tālākā attīstībā devis itāļu matemātiķis un fiziķis Frančesko Mauroliko (1494 – 1575), kurš 1521. gadā pabeidza savu optikas pētījumu pirmo daļu, bet 1554. gadā – otro. Šos darbus publicēja tikai 1611. gadā pēc autora nāves. Tas ir oriģinālākais darbs trīs gadsimtu laikā pēc Vitēlija.

Šajos darbos aplūkota virkne jautājumu:

- gaismas taisnvirziena izplatīšanās; gaismas atstarošanās plakanos, sfēriskos, cilindriskos un koniskos spoguļos; gaismas staru laušana,
- acs uzbūve un darbība; tuvredzības un tālredzības cēloņi,

man bija pilnīgi skaidrs, ka nekad agrāk šajā debess vietā nekādas zvaigznes, pat vismazākās, nebija. Vismaz nevarēja runāt par tik spožu zvaigzni kā šī.”

Tiho Brahes pārsteigums ir saprotams. Zvaigžņu sfēru jau kopš Aristoteļa laikiem uzskatīja par nemainīgu. Hiparha atklājums sen bija aizmirsts, bet Senās Ķīnas astronomu novērojumi 1006. un 1054. gadā Tiho Brahem nebija zināmi. Tiho Brahe izsacīja hipotēzi, ka jaunā zvaigzne radusies no debess matērijas Piena Ceļa tuvumā. Viņš norādīja uz tumšu plankumu tās tuvumā, no kurienes ņemta matērija. Tiho Brahe bija ļoti darbīgs un veica precīzus zvaigžņu un planētu stāvokļu mērījumus. Tādējādi tika iegūta planētu kustības stāvokļu nepārtraukta aina. Šie un arī citi pētījumi atnesa Brahem slavu.

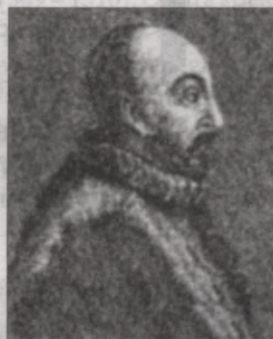
- konstatēts, ka acs lēcas nepietiekams vai palielināts izliekums ir tālredzības vai tuvredzības cēlonis; skaidrota brillu darbība,
- norādīts, ka izliektas lēcas ir gaismu savācošas, bet ieliektas – izkliedējošas,
- pēc rūpīgas acs anatomijas analīzes secināts, ka stari lūst zīlītē, bet attēls veidojas uz tiklenes. Tiesa, ar dažādu viltību palīdzību autors bija panācis, ka uz tiklenes veidojas tiešs attēls;
- pētīta sfēriskā aberācija,
- vēl nezinot laušanas likumu, Mauroliko parādīja, ka, šķērsojot plakanparalēlu plāksnīti, gaismas stars nemaina virzienu, bet tikai pārvietojas paralēli sev,
- pētīta staru laušana prizmā, norādīts uz septiņām varavīksnes krāsām agrāk atzīto trīs krāsu vietā. Norādīts, ka prizmā iegūst tādas pašas krāsas, kādas novēro varavīksnē.

Iespējams, ka Mauroliko atturējās no savu darbu publicēšanas tādēļ, ka pret optiku bija izveidojusies neuzticība. Zināma atbildība šeit jāuzņemas arī Alhazenam, kurš daudz uzmanības veltīja optiskām ilūzijām. Alhazens mācīja neuzticēties maņu orgāniem, sevišķi redzei. Daudzas parādības tad vēl neprata izskaidrot, piemēram, staru laušanu. Novērojot staru gaitu uz robežas starp divām vidēm, piemēram, starp gaisu un ūdeni, rodas iespaids, ka laušana ir ilūzija. Neuzticība bija arī pret lēcām. Tās gan palielina, gan samazina, gan arī dod krāsas, kādas nav priekšmetā. Šī situācija neveicināja sarežģītāku optisku instrumentu izgudrošanu. K. Heigenss vēlāk rakstīja: “Cilvēkam, kurš varētu izgudrot tālskati, pamatojoties tikai uz teoriju, bez nejaušības iejaukšanās, jābūt apveltītam ar pārcilvēcīgu prātu.”

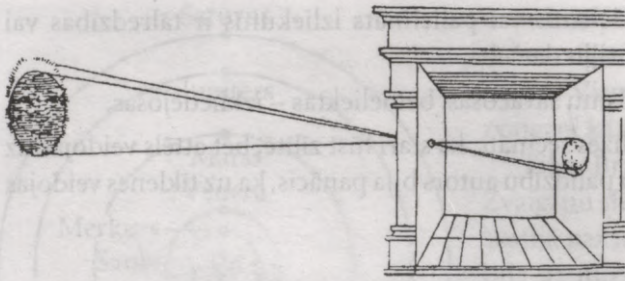
Atšķirībā no Mauroliko, kura darbs nebija apjomīgs, toties saturīgs, itāļu zinātnieka Džovanni Batistas Porti (1535 – 1615) darbs 1558. gadā “ietilpa” četrās grāmatās, bet 1589. gadā – jau 20 grāmatās. Daudz vietas šeit bija atvēlētas dažādu brīnumu meklējumiem. Taču septītā un septiņpadsmitā grāmatā var atrast materiālu, kas liecina, ka Porti ir pietiekami pieredzējis optiķis eksperimentētājs:

- viņš iegūvis priekšmetu attēlus ar ieliektiem spoguļiem,
- noteicis ieliektu spoguļu “inversijas” punktu, t. i., fokusu,
- iegūvis dažādus efektus, kombinējot plakanus un ieliektus spoguļus,
- tumšās kameras atveres priekšā novietojis pozitīvu lēcu, šādu kameru var uzskatīt par fotoaparāta priekšteci,
- izmantojis kameru (megaskopu) zīmējumu veikšanai, kā arī attēlu iegūšanai no spilgti apgaismotiem priekšmetiem, kas novietoti atveres priekšā.

Ar vienkāršu iekārtu – megaskopu – varēja iegūt palielinātus attēlus, izmantojot dienasgaismu. Lai izdarītu zīmējumus dabā, izmantoja tumšo kameru telts veidā. Saglabājies J. Fladunga zīmējums 1831. gadā, kur attēlota tumšā kamera, kas ierīkota Krompahi pils tornī Slovērijā. Šādas kameras izmantoja arī neuzkrietošai mājas ieejas novē-



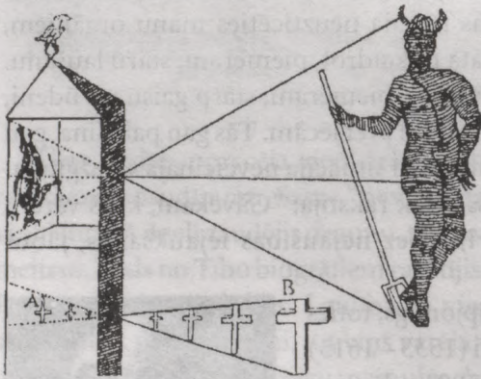
Porti (1535 – 1615)



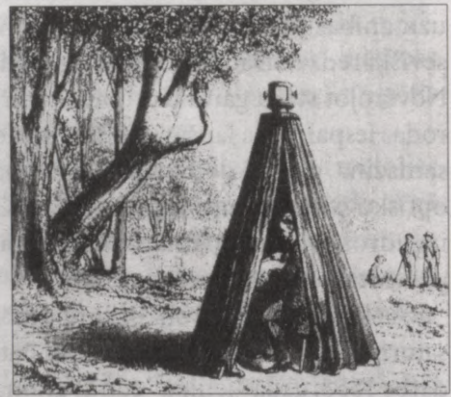
Viens no senākajiem tumšās kameras zīmējumiem (1545). Vācu fiziķis Džemma Friziuss attēlojis, kā 1544. gada janvārī novērots Saules aptumsums. 1607. gada janvārī tādā pašā veidā Saules aptumsumu novēroja Johanness Keplers Prāgā



Tumšā kamera Krompahi pils tornī

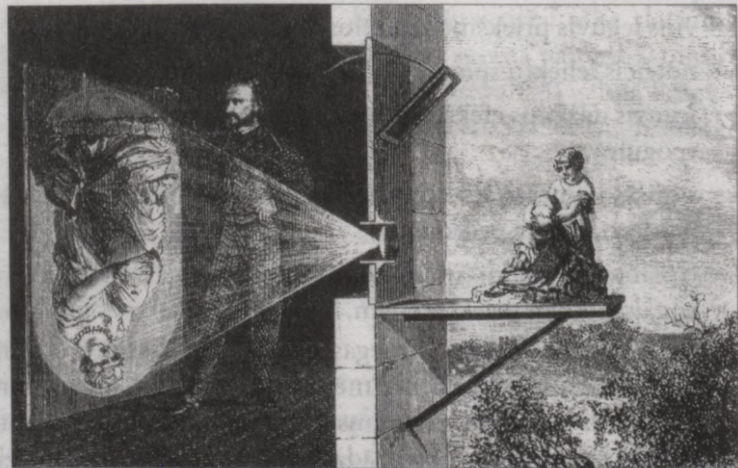


Kristofs Šeiners (1575 – 1650) tumšo kameru salīdzināja ar cilvēka aci. Viņš novēroja iegūtā attēla izmēru atkarību no attāluma starp objektu un kameru



Tumšā kamera telts veidā

Megaskops palielinātu attēlu iegūšanai





5. un 4. gadsimtā pirms mūsu ēras zinātniskie uzskati veidojās Atēnās. Šeit darbojās Sokrāts, Platons, Aristotelis, Eiklīds un citi ievērojami filozofi. Šai tēmai veltīta ievērojamā itāļu gleznotāja un arhitekta Rafaēla (*Raffaello Santi*, 1483 – 1520) freska “Atēnu skola” (1509 – 1510). Centrā attēlots Platons (428. – 348. g. p. m. ē.) un Aristotelis (384. – 322. g. p. m. ē.), grupas centrā freskas labajā stūrī – Eiklīds (ap 365. – 300. g. p. m. ē.). Sākotnējo izglītību Rafaēls guva pie sava tēva – gleznotāja Džovanni Santi. 1504. gadā Rafaēls Florencē studē Leonardo da Vinči darbus, anatomiju un perspektīvu. 1508. gadā pāvests Jūlijs II Rafaēlu uzaicina uz Romu, kur viņš no 1509. līdz 1517. gadam apglezno Vatikāna pils zāles. Rafaēla gleznu saturs ir daudz plašāks par oficiāli paredzēto. Tajās cildina brīvību, cilvēku vispusīgu fizisku un garīgu attīstību, kā arī laimi laicīgajā dzīvē



Stonhendža. Pēc zinātnieku domām, Stonhendža ir milzīga aizvēsturiska observatorija, kuras akmeņu izkārtojums dod precīzu skatpunktu Saules un Mēness lēktam un rietam vasaras un ziemas saulgriežos



Ulugbeka observatorijas paliekas. Ulughbeks ap 1430. gadu oāzē Amudarjas krastā uzbūvēja observatoriju. Ap 1449. gadu observatoriju nopostīja. Tās paliekas atklāja 1908. gadā, bet atraka tikai 1948. gadā



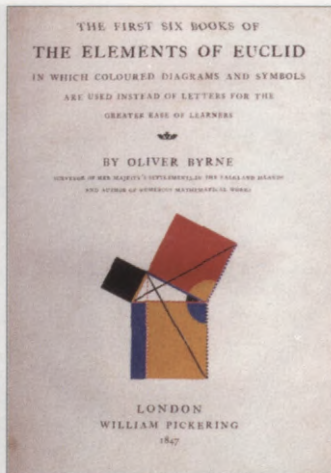
Arhimēds ar spoguļu palīdzību aizdedzina romiešu floti



Cicerons atrod Arhimēda kapu. Izcilais grieķu zinātnieks Arhimēds aprēķināja, ka cilindra un tajā ievilkta lodes tilpumu attiecība ir $3 : 2$. Šo rezultātu Arhimēds uzskatīja par tik būtisku, ka lika to attēlot uz sava kapa pieminekļa. Romas valsts darbinieks un orators Cicerons 100 gadus vēlāk, vadoties pēc šā pieminekļa, atrada pamesto dižā zinātnieka kapu



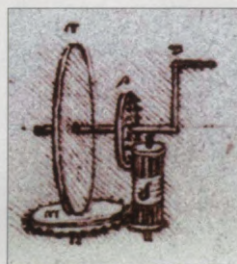
Eiklids (ap 365. – 300. g. p. m. ē.)
un viņa darba “Elementi” 1847.
gada izdevums



Klaudijs Ptolemajs (ap 90. – 168. g.)



Leonardo da Vin-
či sfērisku spogu-
ļu slīpēšanas iekārtas zīmējums
(pa labi) un mak-
ets (pa kreisi)



Sengrieķu filozo-
fam un zinātnie-
kam Dēmokritam
(460. – 370. g. p.
m. ē.) veltīta Grie-
kijas naudaszīme



Viduslaiku astronoms nosaka attālumu līdz kuģim, izmantojot Talesa ieteikto triangulācijas metodi



Juliāna kalendāra reformas komisija, kuru 1576. gadā nodibināja pāvests Gregorijs XIII. Nezināma mākslinieka gleznas fragmentā attēlots, ka reformas komisijas loceklis norāda diagrammā uz desmit dienu lielu kļūdu, kas uzkrājusies Juliāna kalendārā kopš 325. gada konsilija. Augšējais diagrammas loks reprezentē kalendāra gadu, kas sadalīts dienās, apakšējais loks – tropisko gadu. Gregora kalendārs stājās spēkā 1582. gadā, kad pēc ceturtdienas 4. oktobrī sekoja piektdiena, nevis 5. oktobris, bet gan 15. oktobris. Jaunā stila ieviešana izraisīja Rīgā “kalendāra nemierus” (1584–1589). Krievijā Gregora kalendāru sāka izmantot tikai 1918. gadā, kad starpība jau bija 13 diennaktis.

rošanai. Pirmās tumšās kameras bija lielas, parasti – istabas. Vēlāk tās pārveidoja pārnēsamās iekārtās.

Uzlabojot kameru ar lēcu, Porti varēja iegūt labākus attēlus, jo palielinājās kameras gaismaspēja.

Tas atļāva par gaismas avotu izmantot parasto lampu un, iekrāsojot liesmu, panākt pat krāsu efektus. Porti bija iecerējis radīt tālskati, kas veidots no paraboliska spoguļa un lēcas, bet ilgu gadu laikā nespēja šo ieceri īstenot. Tikai pēc tam, kad tālskati uzbūvēja Galilejs (1564 – 1642), Porti sāka diskusiju par izgudrojuma prioritāti.

Porti laikabiedrs Paolo Sarpi (1552 – 1623) konstatēja, ka priekšmetu redzami izmēri atkarīgi no leņķa, kādā tos aplūko. Iespaudu uz tiem atstāj arī “brilles un citi caurspīdīgi objekti, kas palielina vai samazina priekšmetus, palielinot vai samazinot redzes leņķi”. Arī Sarpi ir domājis par tālskata izveidi. Par to liecina vēstule, kas, uzzinot par tālskata izgudrošanu, 1609. gada 6. februārī rakstīta paziņam: “Es neapstiprināju un nepārbaudīju šo domu eksperimentā. Nezinu, varbūt tas meistars īstenoja manas ieceres, ja vien ziņas nav pārspīlētas, kā tas parasti mēdz būt ar baumām.”

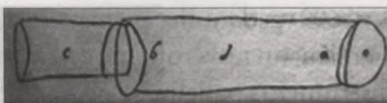
Par to, kurš pirmais izveidojis tālskati, ir pretrunīgas ziņas. Visticamāk, ka to paveikuši nevis zinātnieki, bet gan meistari optiķi, kas nodarbojās ar stikla apstrādi, lēcu un brīļu izgatavošanu. Tajā laikā šis amats bija stipri attīstīts un izveidojās par patstāvīgu rūpniecības nozari.

Pirmais par tālskata izgudrošanu paziņojis holandietis Lipergeiss 1608. gadā. Ja var ticēt vēlāko laiku dokumentiem, tad Zaharija Jansens Holandē tālskati uzbūvējis jau 1604. gadā pēc 1590. gadā Itālijā veidota modeļa. Pēc citām ziņām, tālskata izgudrotājs varētu būt itāļu mediķis Frakastoro (1478 – 1553).

1. 7. No Galileja līdz Ņūtonam

Tiho Brahem teleskopa nebija. Viņš bija pēdējais ievērojamākais astronoms, kurš nomira vēl pirms tam, kad Galilejs vērsa savu teleskopu pret debesīm. Taču Tiho Brahe tikai uz vizuālo novērojumu pamata spēja atrisināt daudzus nenoskaidrotus jautājumus. Piemēram, komētu novērojumi Brahi pārliecināja, ka tās lido starp planētām, kaut gan tajā laikā valdošais bija Aristoteļa uzskats, ka komētas lido zemāk par Mēnesi Zemes atmosfēras augšējos slāņos. Liekas kļuva kristāla sfēras, kas, pēc antīko astronomu domām, kalpoja Saules, planētu un zvaigžņu noturēšanai.

1609. gada pavasarī ziņa par tālskata izgudrošanu sasniedza Venēciju, kur dzīvoja Galilejs. Tajā laikā Galilejam bija vājas zināšanas optikā. Bet šai nekompetencei bija zināma priekšrocība. Galilejam trūka neuzticības instrumentam, kas bieži ir raksturīga speciālistiem pēc tam, kad tie ir pārliecinājušies, ka ar lēcu palīdzību var ieraudzīt arī to, kas neeksistē (krāsainas priekšmetu kontūras, formas maiņas, dažādas optiskas ilūzijas).



Porti tālskata skice



Galileo Galilejs
(1564 – 1642)

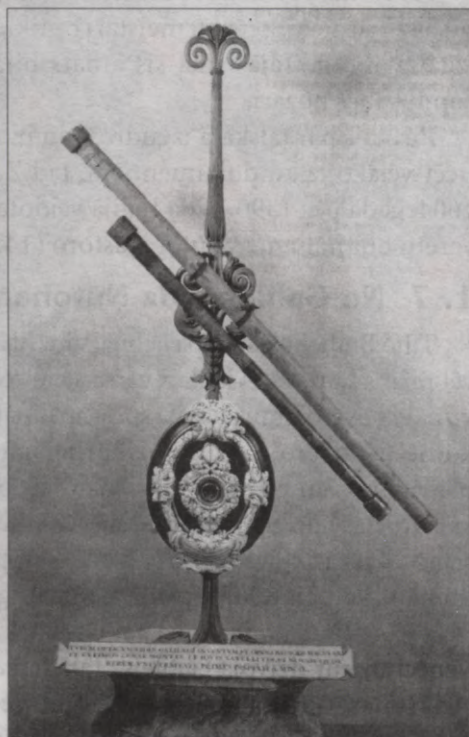
1609. gada jūlija pirmajā nedēļā Galilejs izgatavoja pirmo tālskati, kurš palielināja 14 reizi, un novērojamie priekšmeti izskatījās novietoti trīsreiz tuvāk. Otrs izgatavotais instruments palielināja 19,5 reizes, bet trešais – jau 34,6 reizes, un priekšmeti izskatījās novietoti sešreiz tuvāk. Pēc 10 mēnešiem 1610. gada 12. martā klajā nāca Galileja darbs “Zvaigžņu vēstnesis”, kur Galilejs sīki aprakstīja savus eksperimentus ar tālskati. Galileja tālskatis sastāvēja no pozitīvas objektīva lēcas un negatīvas okulāra lēcas.

Pateicoties Galileja pūliņiem, tālskatis 10 mēnešu laikā kļuva pazīstams visā pasaulē. Vēršot to pret debesīm, Galilejs veica virkni atklājumu. Viņš konstatēja kalnus uz Mēness. Izmērijis šo kalnu ēnu garumus, Galilejs varēja noteikt Mēness kalnu augstumu. Galilejs konstatēja arī Saules plankumus un, novērojot to pārvietošanos, aprēķināja Saules rotācijas ap asi periodu. Jāpiebilst, ka gandrīz vienlaikus ar Galileju un Kristofu Šeineru (1575 – 1650) Saules plankumus novēroja vācu astronoms Johanness Fabriciuss (1587 – 1615). Savus novērojumus Fabriciuss publicēja 1611. gadā darbā “Par Saules plankumiem”.

Galilejs pirmoreiz novēroja četrus Jupitera pavadoņus – Kalisto, Ganimēdu, Eiropu un Jo, kuri arī tagad nes Galileja vārdu. Viņš konstatēja, ka Piena Ceļš sastāv no zvaigznēm, novēroja Veneras un Merkura fāzes. Šo atklājumu dēļ Galileju var uzskatīt par astronomiskā teleskopa izgudrotāju.

Šajā sakarībā Galilejs rakstīja: “Kādā mērā es piedalījos šā instrumenta atklāšanā un vai es to pamatoti varu nosaukt par līdzdalību, es jau sen rakstīju savā “Zvaigžņu vēstnesī”. Es aprakstīju, ka Venēcijā, kur es tad atrados, sasniedza ziņa, ka senjoram grāfam Mavričijam viens holandiecis bija uzdāvinājis optisku ierīci, kurā attālināti priekšmeti redzami tik labi, it kā tie būtu pavisam tuvu. Uzzinājis par to, es atgriezos Padujā, kur tad dzīvoju, un sāku par šo uzdevumu domāt. Jau pirmajā naktī pēc savas atgriešanās es to atrisināju, bet nākamajā dienā izgatavoju instrumentu, par kuru arī ziņoju Venēcijā tiem pašiem draugiem, ar kuriem es iepriekšējā dienā apspriedu šo lietu... Bet droši vien kāds sacīs, ka uzdevuma atklāšanā un atrisināšanā ne maza nozīme ir vispirms kaut kādā veidā uzzināt par slēdzienu pareizību un būt pārliecinātam, ka nemeklē neiespējamo. Tāpēc ziņa un pārliecība, ka optiskā ierīce jau izgatavota, palīdzēja man tādā mērā, ka bez tās es neko neatrastu.

Uz to es atbildēju divējādi. Es sacīšu, ka palīdzība, ko man izrādīja ziņa, ierosināja manī vēlmi piepūlēt domas, ka varbūt bez tās



Galileja teleskops, kas glabājas Florences Nacionālajā muzejā. Ovalā ornamenta centrā atrodas bojātā lēca, ar kuru Galilejs atklāja Jupitera pavadoņus



Galilejs demonstrē
savu teleskopu
Venēcijas dodžam

es nekad nesāktu domāt par šo ierīci, bet es neuzskatu, ka šāda rakstura ziņa varēja vēl citādi iedarboties uz izgudrojumu. Vēl vairāk, es apgalvoju, ka atrast norādītā un nosauktā uzdevuma risinājumu ir stipri grūtāks uzdevums, nekā atrast risinājumu uzdevumam, par kuru nedomāja un nenosauca, jo tādā situācijā milzīga loma var būt gadījumam, bet šeit viss ir spriedumu rezultāts. Tagad mēs neapšaubāmi zinām, ka holandietis – pirmais tālskata izgudrotājs – bija vienkāršs parasto briļļu meistars. Gadījuma pēc, pārlūkojot dažādu veidu stiklus, viņš paskatījās vienlaikus caur diviem stikliem, vienu izliektu, otru ieliektu, turklāt tie atradās dažādā attālumā no acs. Tādā veidā viņš ieraudzīja un novēroja šo stiklu iedarbību un tā atklāja instrumentu. Turpreti es, minētās ziņas vadīts, atradu instrumentu spriedumu ceļā.

Mani spriedumi bija šādi: šis veidojums sastāv no viena vai arī vairākiem stikliem, kuru forma ir vai nu izliekta, vai ieliekta, vai ierobežota ar paralēlām virsmām. Pēdējais stikls nemaz neizmaina redzamos priekšmetus, tos palielinot vai pamazinot, ieliekts tos samazina, bet izliekts tos palielina, padarot ļoti neskaidrus un izkropļotus. Tāpēc viens stikls ir nepietiekams, lai iegūtu vēlamu efektu. Pēc tam es izmantoju divus stiklus un, zinot, ka stikls ar paralēlām virsmām neko nemaina, kā jau sacīts, secināju, ka efekts nevar arī rasties, to kombinējot ar kādu no diviem pārējiem. Tāpēc es gribēju pārbaudīt, kas iznāks no divu pārējo, t. i., izliekta un ieliekta stikla savienojuma, un ieraudzīju, ka tādējādi meklējamais ir iegūstams.”

Galilejam pieder arī daudzi citi pētījumi. Kad Galilejs bija 19 gadus vecs, viņš atklāja svārsta kustības likumus. Uz to viņu rosināja zem baznīcas kupola garā trosē iekārtas lustras svārstības. Svārstību perioda ilgumu Galilejs noteica pēc sava pulsa un pārliecinājās, ka tas ir atkarīgs tikai no troses garuma, nevis no atvērziņa lieluma.

Galilejs formulēja arī gaismas ātruma mērīšanas metodi, izmantojot divus novērotājus ar lukturēm. Pirmais novērotājs atver lukturi un fiksē atvēršanas momentu. Kad gaisma sasniedz otro novērotāju, tas atver savu lukturi. Pirmais novērotājs fiksē atbildes signālu. Galilejs labi saprata, ka cilvēka reakcija uz ārēju kairinājumu nav momentāna, tādēļ tika veikti iepriekšēji eksperimenti, lai noskaidrotu šīs reakcijas

ilgumu. Ievērojot šo faktu un balstoties uz daudzu eksperimentu rezultātiem, Galilejs secināja, ka gaismas ātrums ir ļoti liels. Taču gaismas ātruma patieso vērtību mums saprotamu apstākļu dēļ Galilejs noteikt nespēja. Galileja ieteikto principu pēc 250 gadiem realizēja A. Fizo, aizvietojot vienu novērotāju ar spoguļi. Galilejs nonāca ļoti tuvu arī Saturna gredzenu atklāšanai, taču to izjauca neparedzēts gadījums.

Tajā laikā bija paradums nostiprināt savas tiesības uz atklājumu ar anagrammas palīdzību. Ja pētnieks bija tuvu kādam atklājumam, bet tā noformēšanai bija nepieciešami tālāki novērojumi, potenciālā atklājuma autors publicēja īsu idejas formulējumu, sajaucot burtu kārtību. Tā autors nodrošināja sava atklājuma prioritāti.

Tā Galilejs, novērojis savā vēl nepilnīgajā tālskatī Saturna abās pusēs kaut kādas detaļas, publicēja šādu burtu sakopojumu:

"Smaismrmielmepoetalemibuvnenugttaviras."

Atklāt to, kas slēpjas zem šā šifra, ir praktiski neiespējami. Vienīgi Keplers, kuram bija raksturīga neizmērojama pacietība, mēģināja šo miklu atrisināt. Atmetot divus burtus, viņš ieguva šādu frāzi latīņu valodā:

"Salve, umbistineum geminatum Martia proles."

(*"Sveiciens jums, dvīņi, Marsa radītie."*)

Kepleram šķita, ka Galilejs atklājis divus Marsa pavadoņus, par kuru eksistenci pats bija pārliecināts. Patiesībā šos pavadoņus atklāja tikai pēc divarpus gadsimtiem. Keplers bija kļūdiņies, tulkojot Galileja anagrammu. Nedaudz vēlāk Galilejs pats deva savas tēzes skaidrojumu:

"Altissimum planetum tergeminum observavi."

(*"Augsto planētu novēroju trīskāršu."*)

Sava tālskata ierobežoto spēju dēļ Galilejs nevarēja noskaidrot šo detaļu īsto formu. Dažus gadus vēlāk, Saturnam nonākot stāvoklī, kad gredzeni no Zemes nav redzami, Galilejs nolēma, ka ir kļūdiņies savos agrākajos novērojumos un Saturnam nekādu detaļu nav.

Saturna gredzenus pusgadsimtu vēlāk atklāja Heigenss, taču vispirms publicēja šifru:

"Aaaaaaacccccdeeeeeghiiiiillllmmnnnnnnnnnooooooppqrrstttuuuuu."

Tikai pēc trim gadiem, pārliecinājies par sava atklājuma pareizību, Heigenss atklāja sava pieteikuma jēgu:

"Annulo cingitur, tenui, plano, nusquam cohaerente, ad edipticam inclinato."

(*"Apņem gredzens plāns, plakans, nekur nepieskaras, pret ekliptiku noliekts."*)

Astronomiskie novērojumi, kurus veica Galilejs, atnesa viņam ne tikai pasaules slavu, bet arī daudz ciešanu un pārdzīvojumu. Vairākums Galileja atklājumu liecināja par Kopernika mācības pareizību, kas bija pretrunā ar baznīcas nostādnēm. Galileja ziņojumi atstāja milzīgu iespaidu uz tā laika sabiedrību. Veidojās uzskats, ka planētas ir līdzīgas Zemei. Pēc Jupitera pavadoņu atklāšanas Galilejs rakstīja: "Visa tā iespaidā es jau bez mazākās svārstišanās nolēmu, ka pastāv četri spīdekļi, kas riņķo ap Jupiteru, līdzīgi kā Venera vai Merkurs riņķo ap Sauli. Tagad mums ir acīm redzams arguments, lai izklaidētu to šaubas, kas, pieņemot, ka planētas riņķo ap Sauli, tomēr mulst, zinot, kādā veidā Mēness riņķo ap Zemi un tai pašā laikā kopā ar to veic gada riņķi ap Sauli... Tagad mēs

zinām, ka ir planētas, kas riņķo viena ap otru un tai pašā laikā kopā riņķo ap Sauli; mēs zinām, kā ap Jupiteru kustas ne tikai viens, bet četri mēneši, kas tam seko turpmākajā tā 12 gadus riņķojumā ap Sauli.” Galilejs publiski izskaidroja savu novērojumu nozīmi. Viņš runāja un rakstīja visiem labi saprotamā itāļu valodā, tādēļ pievilināja daudz lasītāju un klausītāju savai idejai, ka Zeme nav nekustīga.

Galileja pievēršanās Kopernika idejām izraisīja valdošo aprindu klaju sašutumu. Par Galileju tika ziņots inkvizīcijai. Romā Galilejam izdevās novērst apvainojumus ķecerībā, taču viņam tika liegts aizstāvēt Kopernika mācību. Pārstājis publicēt savus astronomiskos novērojumus, Galilejs intensīvi strādāja pie sava lielākā darba “Dialogs par divām pasaules sistēmām”. Šā darba nolūks bija pierādīt Zemes kustību. Darbs iznāca 1632. gadā. 1633. gadā slimo gandrīz 70 gadus veco Galileju Romā izsauca uz inkvizīcijas tiesu. Galileju apsūdzēja par to, ka viņš ar savu grāmatu pārkāpis 1616. gadā doto norādījumu neaizstāvēt Kopernika mācību, jo tā ir ķecerīga. Galilejam draudēja spīdzināšana un iespēja tikt sadedzinātam uz sārta. Galilejs aizstāvējās pret izvirzītajiem apvainojumiem, norādot, ka grāmatā Kopernika sistēma atklāti netiek aizstāvēta, bet tikai apspriesta disputa formā. Formāli inkvizīcija nevarēja Galileju atzīt par ķeceri. Tā pieprasīja Galileja publisku atteikšanos no Kopernika mācības. Būdam jau stipri slim, 70 gadus vecais Galilejs pakļāvās un parakstīja atteikšanos no domām, ka “Saule ir pasaules centrs un nekustīga, bet Zeme nav centrs un ir kustīga”.

Vienlaikus ar Galileju darbojās vācu zinātnieks Johanness Keplers (1571 – 1630). Keplera intereses neaprobežojās tikai ar astronomiju. Viņš interesējās arī par matemātiku, filozofiju un vēsturi. Gan jāatceras, ka tajos laikos matemātikai pieskaitīja arī astronomiju un fiziku.

Pēc Tībingenes universitātes beigšanas Keplers kļuva par Grācas zemstes matemātiķi. Keplers pasniedza matemātiku arī Grācas evaņģēliskā klostera augstskolā. Viņam bija pienākums katru gadu izdot astronomisko kalendāru, kurā iekļautas laika prognozes, un paredzēt svarīgākos politiskos notikumus. Keplers zināja horoskopu sastādīšanas tehniku, taču ir ziņas, ka viņš vairāk paļāvies uz savām meteoroloģijas zināšanām, cilvēku un politisko procesu pazīšanu. Jau savā pirmajā kalendārā 1595. gadā viņš paredzēja sūru ziemu, turku uzbrukumu un zemnieku nemierus Augšāustrijā. Šo pareģojumu piepildījums izpelnījās plašu lasītāju aprindu uzticību, un Keplers iekaroja lasītāju cieņu.

Neraugoties uz šiem pienākumiem, Kepleram pietika laika zinātniskai darbībai. Pirmais Keplera darbs, ko viņš uzrakstīja īsā laikā – 14 mēnešos, bija “Kosmogrāfiskās apceres priekšvēstnesis, kas satur Visuma noslēpumu”.

Jau būdam students, Keplers bija sajūsmināts par Pitagora sfēriskās harmonijas mācību. Tagad “Visuma noslēpumā” Keplers uzskatīja, ka planētu sistēmas uzbūves likumsakarību pamatā ir jāizmanto šis fakts. Keplers pieņēma, ka starp sešu planētu sfērām var iebūvēt piecus zināmos regulāros daudzskaldņus, kas kalpo attālumam sagla-



Johanness Keplers
(1571 – 1630)

bāšanai starp sfērām. Pēc Keplera vārdiem, planētu sistēmas struktūra ir šāda: “Zeme ir kritērijs visām citām planētām. Apvilksim ap to dodekaedru; uz dodekaedru aptverošās sfēras atrodas Marss. Aprakstīsim ap Marsa orbītu tetraedru; tad uz to aptverošās sfēras atrodas Jupiteris. Aprakstīsim kubu ap Jupitera orbītu; uz kubu aptverošās sfēras atrodas Saturns. Ierakstīsim Zemes orbītā ikosaedru. Tajā ievilktajā sfērā atrodas Venera. Ievietosim Veneras orbītā oktaedru; uz tajā ierakstītās sfēras atrodas Merkurs.”

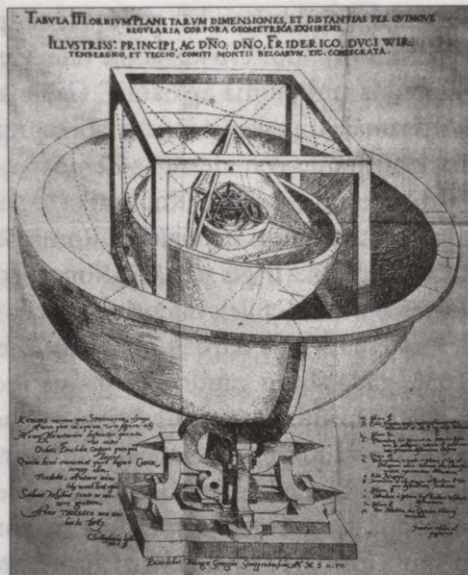
Attieksme pret šo Keplera darbu bija dažāda. Svarīgas bija Tiho Brahes domas, kurš norādīja, ka dabas likumus neiegūst *apriori*, bet gan veicot rūpīgus novērojumus. Tiho Brahe novērtēja Keplera spējas un aicināja viņu sadarboties.

17. gadsimtā fizika faktiski sastāvēja no divām nozarēm: mehānikas un optikas. Tās abas būtībā kalpoja astronomijai. Lai apmierinātu astronomijas prasības, Keplers uzrakstīja fundamentālu darbu optikā, kuru pieticīgi nosauca par papildinājumu Vitēlija optikai. Keplers izskaidroja optiskās parādības un attīrīja optiku no “rēģiem”. Piemēram, viņš izskaidroja, kāpēc mēs spoguļi redzam attēlu tur, kur tā nav. Keplers parādīja, ka acs, uztverot gaismas starus, nevar zināt, kādu ceļu tie gājuši, tādēļ novieto attēlu šo staru turpinājumā. Keplers pētīja arī gaismas staru laušanu, taču laušanas likuma precīzu formulējumu atklāt nespēja. Redzes mehānisma izpratnē Keplers bija drosmīgāks par Alhazenu, Mauroliku un Porti, tādēļ gaismas staru ceļu acī turpināja līdz acs tīklenei. Viņš saprata, ka tur veidojas apgriezts objekta attēls, bet no tā neseicināja, ka mums priekšmeti arī jāredz apgriezti.

1611. gadā publicētajā darbā “Dioptrika” Keplers aplūko tālskata teoriju, tā uzbūves un darbības principus, kas, atšķirībā no Galileja tālskata, izveidots no divām pozitīvām lēcām. Keplera var uzskatīt par optisko sistēmu teorijas radītāju.

Bez jau minētā Keplers izdarīja šādus pētījumus:

- pētīja lēcu īpašības un lēcu kombinācijas, veica lēcu klasifikāciju,
- meklēja tādu lēcas formu, kas novērstu sfērisko aberāciju,
- konstatēja, ka uz acs tīklenes veidojas priekšmeta apgriezts reāls attēls,
- izmantoja jaunus terminus: saejošs un izklīstošs gaismas staru kūlis, optiskā ass, fokuss,
- noteica lēcu fokusa attālumu,
- atklāja optiskā attēla konstruēšanas likumības (praktiski jau izmantoja sakarību starp objekta, priekšmeta un fokusa attālumiem),



Planētu izvietojums harmoniskajā pasaules sistēmā

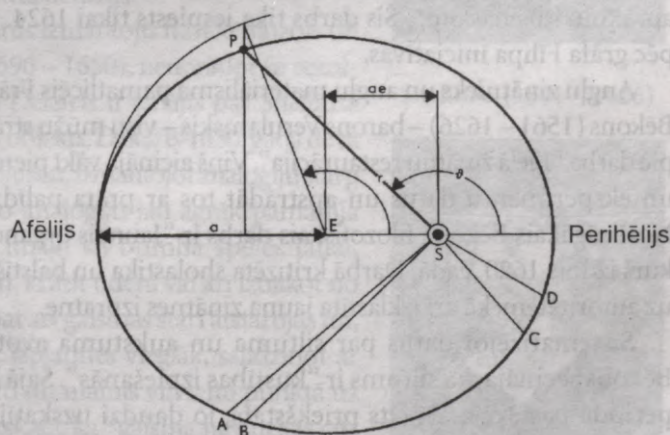
- uzskatīja, ka gaisma sastāv no daļiņām, ko izstaro priekšmeti, bet gaismas ātrums ir bezgalīgi liels,
- izstrādāja trislēcu tālskata shēmu, kas varētu dot tiešu attēlu,
- novēroja Saules aptumsumu ar tumšo kameru un konstatēja, ka attēla forma nav atkarīga no atveres konfigurācijas.

Pēdējo faktu viņš noskaidroja, veicot fizikas vēsturē pirmo modeļeksperimentu. Keplers savu eksperimentu grāmatā "Astronomijas optiskā daļa" apraksta šādi: "Es ņēmu grāmatu un novietoju to uz paaugstinājuma, tai bija jāaizvieto spīdošs ķermenis. Starp šo grāmatu un sienu es novietoju dēli ar daudzstūrains atveri. Pēc tam es piestiprināju grāmatas vienam stūrim diegu, izvilku to cauri atverei un, apejot ar to atveres kontūru, ar otru galu, izmantojot krītu, uzzīmēju figūru uz sienas. Tā izrādījās pilnīgi līdzīga atveres figūrai. Šo operāciju es atkārtāju, piestiprinot diegu pēc kārtas visiem grāmatas stūriem un daudzām citām tās vietām. No visām šīm figūrām beidzot izveidojās viena, kurai bija jo lielāka līdzība ar grāmatas apveidu, jo tālāk siena atradās no atveres."

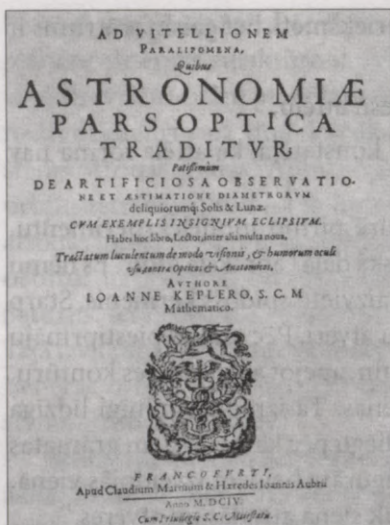
Izmantojot savu tumšo kameru, 1607. gada 28. maijā Keplers, pats to neapzinoties, novēroja Saules plankumu. Tajā laikā efemerīdas (debess ķermeņu stāvokļu tabula noteiktiem secīgiem laika momentiem) zināja tikai aptuveni, tādēļ viņš pieņēma, ka tumšais plankums ir Merkurs, kurš šķērso Saules disku. Tikai vēlāk, kad kļuva zināms par Saules plankumiem, kurus atklāja Galilejs, Keplers savu kļūdu laboja. Galvenos sasniegumus Keplers guva astronomijā. Simt gadu pēc Kopernika darbības Keplers atklāja trīs likumus, kuros matemātiski pamatota planētu kustība. Riņķa orbītas Keplers aizvietoja ar eliptiskām orbītām, vienmērīgu kustību ar nevienmērīgu kustību un planētu apriņķošanas periodu izteica atkarībā no šo planētu vidējā attāluma līdz Saulei.

Pārliecinājies, ka Kopernika ieteiktās riņķa orbītas nedod vēlamos rezultātus, Keplers izvēlējās citu ceļu: izmantojot dāņu astronoma Tiho Brahes rūpīgos novērojumus, Keplers precizēja Marsa orbītas atsevišķus punktus telpā. Pēc empīriski iegūtās Marsa orbītas Keplers atklāja divus likumus. Vispirms Keplers atrada sakarību starp kustību orbītā un laiku, kuru pazīstam kā planētu kustības otro likumu. Vēlāk Kepleram izdevās atklāt, ka Marsa orbīta ir elipse (pirmais likums).

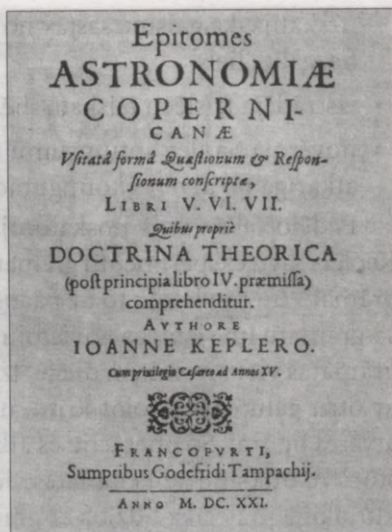
Aprēķinot laukumu, ko ierobežo planētu kustības aprakstītās orbītas, Kepleram bija jāveic integrēšanas operācija, kuru tolaik vēl nepazīna, tādēļ uzdevums bija jārisina summēšanas ceļā. Līdz ar to spriedumos tika ieviesti bezgalīgi mazu lielu-



Planētu orbītas shēma. AB un CD ir orbītas nogriežņi, ko planēta noiet vienādos laika sprīžos



1604. gadā iznākušās “Astronomijas optiskās daļas” titullapa



1621. gadā izdotā “Kopernika astronomijas apcerējuma” titullapa

mu matemātikas elementi. Keplers pieņēma, ka Saule ir spēka avots, bet tomēr vēl neizprata šo spēku dabu.

Trešo likumu Keplers pamatoja trīs gadus vēlāk – 1612. gadā, atrodot sakarību starp planētu aprīņošanas periodu un attālumu līdz Saulei. Izmantojot šo sakarību, Ņūtons pēc 68 gadiem atklāja gravitācijas likumu.

Aprēķinot planētu orbītas un efemerīdas, Keplers atklāja logaritmu metodes priekšrocības. Autors nolēma publicēt logaritmu tabulas, kuras bija izskaitļojis pēc paša izstrādātas metodikas. Manuskriptu Keplers nosūtīja izdevējam, kurš to pat nelasīja, tikai atbildēja: “Matemātikas profesoram neklājas izteikt bērnišķīgu prieku sakarā ar kaut kādu aprēķinu saīsināšanu.” Šis darbs tika iespiests tikai 1624. gadā pēc grāfa Filipa iniciatīvas.

Angļu zinātnieks un angļu materiālisma pamatlicējs Frānsiss Bēkons (1561 – 1626) – barons Verulamskis – visu mūžu strādāja pie darba “Lielā zinātņu restaurācija”. Viņš aicināja vākt pieredzes un eksperimentu datus un apstrādāt tos ar prāta palīdzību. Nozīmīgākais Bēkona filozofiskais darbs ir “Jaunais organons”, kurš izdots 1620. gadā. Darbā kritizēta sholastika un balstīšanās uz autoritātēm, kā arī izklāstīta jauna zinātnes izpratne.

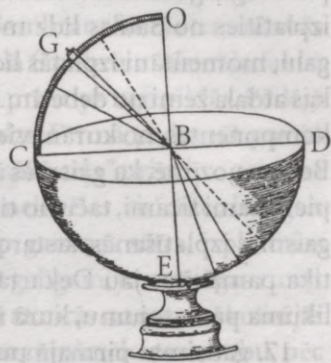
Sistematizējot datus par siltuma un aukstuma avotiem, Bēkons secināja, ka siltums ir “kustības izplešanās”. Šajā laika periodā pastāvēja arī cits priekšstats, jo daudzi uzskatīja, ka siltums un aukstums ir dažādas matērijas. Sprotamāka toreiz šķita siltumraža hipotēze. Tā siltumam piedēvēja šķidrums īpašības, kas var pārplūst no viena priekšmeta uz otru.



Frānsiss Bēkons
(1561 – 1626)

Siltumradis bija radniecīgs flogistonam, ar uguni saistītai hipotētiskai substancei. Ar to varēja labi izskaidrot daudzas siltuma īpašības, piemēram, degšanu un oksidēšanos varēja izskaidrot ar siltumraža izdalīšanos. Siltumraža hipotēze bija ļoti izplatīta 18. gadsimta pēdējā ceturksnī. Zinātnieki, kuri gaismu uzskatīja par ētera svārstībām, pieņēma, ka arī siltums sastāv no līdzīgām ētera svārstībām ķermeņos. Taču vēlāk siltumu atdalīja no gaismas un tikai 1800. gadā V. Heršels atkal pierādīja šo parādību saistību.

Laušanas likumus centās noskaidrot jau Ptolemajs, Alhazens, Tiho Brahe, Keplers, Kirhers u. c. zinātnieki. A. Kirhers šim nolūkam konstruēja speciālu ierīci, kas sastāvēja no pussfēras formas stikla kausa ar skalu CO, pa kuru varēja slidēt plāksnīte G. Arī kausa virsma ED bija graduēta. Centrā B piestiprināts stienītis OE tā, lai tā gals E pieskartos graduētai virsmai ED. Kausu piepildīja ar šķidrumu līdz līmenim B. Stieni OE novietoja vēlamā stāvoklī. Lūkojoties stienīta virzienā, varēja nolasīt, kur stienis pieskaras skalai un kur laušanas dēļ šķiet esam saskares vieta. Tādējādi izvēlētam gaismas krišanas leņķim varēja iegūt laušanas leņķi.



Kirhera ierīce laušanas leņķa noteikšanai

Uzskata, ka laušanas likumu atklājis holandiešu zinātnieks V. Snelliuss (1580 – 1626), kurš laikā no 1620. līdz 1621. gadam eksperimentāli pārbaudīja gaismas stara lūšanu uz robežas starp divām vidēm. Dzīves laikā Snelliuss savus darbus nepublicēja, bet izklāstīja lekcijās Leidenes universitātē, kur kopš 1615. gada strādāja par profesoru. Snelliusa pētījumu pieraksti saglabājušies bibliotēkās. Starp Snelliusa piezīmēm var atrast konstatējumu, ka krišanas leņķa sinusa un laušanas leņķa sinusa attiecība ir konstants lielums.



Snelliuss (1591 – 1626)

Iespējams, ka vēlāk šos rezultātus izmantojis franču filozofs un dabaszinātnieks Renē Dekarts (1596 – 1650), nenorādot šo rezultātu avotu. Jautājums par to, vai Dekarts ir zinājis par Snelliusa pētījumiem, bija daudzu diskusiju objekts. Dekarts 1630. gadā deva laušanas likuma teorētisko pamatojumu, izmantojot analogiju starp gaismas un ķermeņu kustību (šo analogiju jau agrāk pamanīja Alhazens). Dekarts rakstīja: "Līdzīgi kā bumba spēles laikā, saduroties ar sienu, atlec no tās un, krītot ūdenī vai arī iznākot no tā slīpi, izdara virziena maiņu, tāpat arī gaismas stari atstarojas un, ieejot slīpi kādā vidē, kur tie var izplatīties vieglāk, salīdzinot ar vidi, no kuras tie nākuši, tiks laužti un mainīs virzienu punktā uz robežas starp vidēm." Dekarts uzskata, ka "gaisma nav nekas cits kā kāda kustība jeb iedarbība, ko iegūst visai retinātā matērijā, kas aizpilda citu ķermeņu poras". Dekarta nopelni ir tas, ka viņš gaismas



Dekarts (1596 – 1660)

ātrumu sadalīja komponentēs. Pārejot no vienas vides otrā, kustības komponentes izturas dažādi. Komponente, kas paralēla robežai starp vidēm, nemainās. Komponente normāles virzienā palielinās, pārejot blīvākā vidē. Blīvāka vide stiprāk lauž starus, tāpēc Dekarts secināja, ka gaismas ātrums ir lielāks blīvākās vidēs.

Dekartam pārmet nekonsekvenci, jo viņš tāpat kā Keplers uzskatīja gaismas ātrumu par bezgalīgu. Dekarts rakstīja: "Lai jums nešķiet divaini, ka gaismas stari var momentāni izplatīties no Saules līdz mums, jo ir zināms, ka iedarbība, kas iekustina vienu nūjas galu, momentāni izplatās līdz otram pat tādā gadījumā, ja attālums būtu lielāks par to, kas atdala zemi no debesīm." Tai pašā laikā, aplūkojot laušanu, Dekarts sadalīja ātrumu komponentēs, no kurām viena mainās, kas arī nosaka gaismas kustības virziena maiņu. Bet tas nozīmē, ka gaismas ātrums ir galīgs. Arī Dekarts pats atzīst, ka viņa modeļi nav pietiekami ticami, taču no tiem var izsecināt derīgus un pareizus rezultātus, var pamatot gaismas izplatīšanās, atstarošanās un laušanas likumus. Pretrunas Dekarta spriedumos tika pamanītas jau Dekarta dzīves laikā, un tas rosināja zinātniekus meklēt laušanas likuma pamatojumu, kurā nebūtu pretrunu.

17. gadsimta pirmajā pusē pieņēma, ka gaisma ir bezkrāsaina. Krāsu uzskatīja par priekšmetu īpašību vai pat par filozofisku kategoriju. Atšķirībā no tā Dekarts krāsu uzskata par gaismas īpašību: "Krāsas daba slēpjas tajā apstākļi, ka smalkās matērijas daļiņas, kas pārnes gaismas iedarbību, cenšas ar lielāku spēku griezties, nekā kustēties taisnā virzienā; tādā veidā tās daļiņas, kuras griežas ar ievērojami lielāku spēku, rada sarkanu gaismu, bet tās, kas griežas tikai nedaudz stiprāk, – dzeltenu." Tātad, pēc Dekarta domām, gaisma ir deformācija, kas izplatās ideāli elastīgā vidē – ēterā, kurš aizpilda visu telpu. Krāsas viņš skaidroja ar šīs vides daļiņu atšķirīgu rotācijas ātrumu. Par lielu Dekarta veiksmi uzskata viņa eksperimentus, kas izskaidroja varavīksnes rašanos. Viņš izstrādāja varavīksnes ģeometrisku teoriju. Savus secinājumus Dekarts pārbaudīja eksperimentāli ar ūdens pildītu lodi. Paceļot lodi, viņš pārlicinājās, ka krāsas parādās tad, ja atstarotie stari ar krītošajiem Saules stariem veido 42° lielu leņķi. Vispirms parādās sarkanā krāsa, tad arī pārējās. Palielinot novērošanas leņķi, iekšējā varavīksne pazūd, un $51^\circ - 52^\circ$ lielam leņķim parādās vāja ārējā varavīksne ar pretēju krāsu izvietojumu.

17. gadsimta pirmajā pusē, kad vēl nebija zinātnisku žurnālu, zinātnieki par savu kolēģu pētījumu rezultātiem uzzināja, apmainoties ar vēstulēm. Šādā sakarībā lieli nopelni bija franču mūkam un zinātniekam Marenam Mersenam (1588 – 1648). Viņš sarakstījās gandrīz ar visiem sava laika izcilākajiem zinātniekiem: Dekartu, Heigensu, Paskālu, Toričelli, Fermā u. c. Ir saglabājušās Mersena vēstules 78 korespondentiem. Sevišķi svarīga bija Mersena sarakste ar zinātniekiem, kas nesteidzās publicēt savus darbus. Pirms Dekarts nopublicēja "Pārrunas par metodi", Mersens nosūtīja šā darba pirmās nodaļas franču matemātiķim (pēc profesijas juristam) Pjēram Fermā (1601 – 1665), vēlēdamies uzzināt



Fermā (1601 – 1665)

Fermā domas. Fermā atbildē norādīts uz pretrunām Dekarta darbā. Uzskata, ka šīs diskusijas iespējā Fermā sāka meklēt citu laušanas likuma pamatojumu, kurā nebūtu pretrunu.

Dekarts centās šo uzdevumu risināt, vadoties no konkrēta priekšstata par gaismas dabu. Pastāv vēl otra iespēja pamatot laušanas likumu, neizvirzot hipotēzi par gaismas dabu. Šādu ceļu izvēlējās Fermā.

Šajā procesā zināma loma bija arī Fermā draugam de la Šambram, kurš atstarošanās likumu pamatoja ar Hērona "īsākā ceļa" principu. Pašu de la Šambru mulsināja fakts, ka, gaismas staram atstarojoties no ieliekta spoguļa, Hērona princips neizpildās. Pēdējā gadījumā gaisma izplatās pa garāko ceļu. De la Šambrs lūdza Fermā padomāt par šā izņēmuma cēloņiem. Tas rosināja Fermā izmantot Hērona "īsākā ceļa" principu gaismas staru laušanai. Pēc pārdomām Fermā nolēma, ka gaisma neizvēlas visīsāko, bet gan pašu "vieglāko" ceļu tādā nozīmē, ka pretestība, ko sastop gaismas stars, izplatoties vidē, ir vismazākā. Tādā gadījumā gaismas ātrumam ir jābūt galīgam, jo nav jēgas runāt par vides pretestību, ja gaismas ātrums ir bezgalīgi liels. Fermā atteicās no savas sākotnējās pārliecības par bezgalīgi lielu gaismas ātrumu. Priekšstats par minimālo pretestību, pēc Fermā domām, ir ekvivalents apgalvojumam, ka gaisma pārvietojas pa ceļu, kura noiešanai tā patērē vismazāko laiku. Pēc Fermā domām, gaisma izplatās ātrāk mazāk blīvā vidē. Zinātnieks savā pamatojumā neizmantoja kādu konkrētu priekšstatu par gaismas dabu, bet gan pievērsa galveno uzmanību problēmas matemātiskajai pusei.

1662. gadā Fermā formulēja gaismas izplatīšanās vispārīgu likumu – Fermā principu. Saskaņā ar šo principu gaismas stars telpā starp diviem punktiem izplatās pa to ceļu, pa kuru tā izplatīšanās laiks ir mazāks, salīdzinot ar izplatīšanās laiku pa visiem pārējiem ceļiem, kas savieno šos punktus. No Fermā principa izriet visi tai laikā zināmie geometriskās optikas likumi:

- gaismas stara taisnvirziena izplatīšanās viendabīgā vidē,
- atstarošanās likums uz robežas starp divām vidēm,
- laušanas likums, ieejot otrā vidē.

Precīzākā formulējumā Fermā princips ir variāciju princips, kas apgalvo, ka gaismas stars izplatās no viena punkta uz otru pa to ceļu, pa kuru izplatīšanās laiks ir ekstremāls vai vienāds, salīdzinot ar izplatīšanās laiku pa visiem citiem ceļiem, kas savieno šos punktus. Fermā principa matemātiskais pieraksts ir šāds:

$$t = \frac{1}{c} \int_A^B n ds, \quad \delta t = 0, \quad \delta \int_A^B n ds = 0,$$

kur c ir gaismas kustības ātrums, n – vides laušanas koeficients, s – ceļš. Integrālis jāreķina pa stara izplatīšanās ceļu. A un B ir punkti, starp kuriem izplatās gaisma.

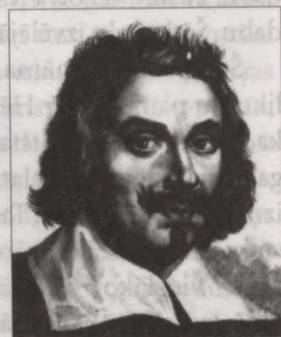
Piemēram, atstarojoties no plakana spoguļa, stars noiet ceļu, pa kuru izplatīšanās laiks ir minimālais; atstarojoties no ieliekta spoguļa – maksimālais. Saejot lēcas fokusa, visi ceļi ir vienādi, un šos ceļus gaisma noiet vienādos laika sprīžos. Fermā princips ir izmantojams gadījumos, kad var neievērot gaismas difrakciju, t. i., kad gaismas viļņa garums ir mazs, salīdzinot ar objekta izmēriem.

Ar Fermā principa izstrādi beidzās staru jeb ģeometriskās optikas pamatu izveide. Vadoties no šā principa, var atvasināt praktiski visas staru optikas pamatsakarības: plānas un biezas lēcas formulu, Abes invariantu u. c. Optikas tālākā attīstība saistīta ar gaismas dispersijas, interferences, difrakcijas un polarizācijas atklāšanu un pētīšanu, kā arī ar optisko instrumentu uzlabošanu.

Šajā jomā lieli nopelni bija itāļu fiziķim un matemātiķim Evandželistam Toričelli (1608 – 1647). Viņš laikā no 1641. līdz 1644. gadam izveidoja lēcu izgatavošanas un kontroles metodi, kas ļāva izgatavot augstas kvalitātes lēcas. Savu metodi Toričelli nav izpaužis. Vēlāk daži speciālisti pieļāva iespēju, ka Toričelli savā darbā kvalitātes kontrolei izmantojis interferences gredzenus, jo tolaik izgatavoto lēcu kvalitāte atbilst mūsdienu prasībām.

Vienlaikus ar tālskati 1590. gadā izgudroja arī mikroskopu, par kura radītāju uzskata Jansenu. Pirmās liecības par mikroskopa sekmīgu izmantošanu saistās ar Huka un Lēvenhūka vārdiem. Angļu fiziķis Roberts Huks (1635 – 1703), izmantojot uzlabotu mikroskopu, 1665. gadā atklāja, ka dzīvu organismu audi sastāv no šūnām. Savukārt holandiešu dabaszinātnieks Lēvenhūks laikā no 1673. līdz 1677. gadam ar mikroskopu atklāja un pētīja mikroorganismus. Huks savus pētījumus publicēja, turpretī Lēvenhūka pētījumu popularizēšanā liela loma bija Londonas Karaliskajai biedrībai.

1681. gadā vienā no Londonas Karaliskās biedrības sēdēm apsprieda savdabīgu jautājumu: kāds holandiecis, vārdā Lēvenhūks, jau 8 gadus pēc kārtas sūtīja biedrībai

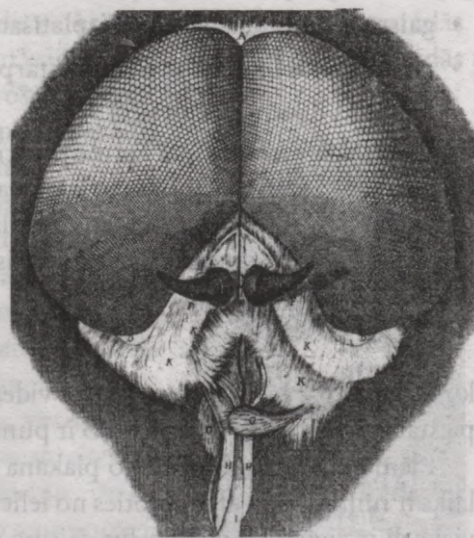


Toričelli (1608 – 1647)



Huka mikroskops.

Objekta apgaismošanai izmantoja eļļas degli un ar ūdeni pildītu stikla lodi



Mušas acs.

Huka zīmējums un gravūra

vēstules, kur aprakstīja brīnumainas lietas. Viņš apgalvoja, ka ar savu mikroskopu atklājis dzīvas radības ūdens pilienā, piparu uzlējumā, upes nogulsnes u. c. "Ar vislielāko izbrīnu es ieraudzīju pilienā milzīgu daudzumu zvēriņu, kas dzīvi kustējās visos virzienos kā lidaka ūdenī. Paši mazākie no šiem sīkajiem dzīvniekiem tūkstots reižu mazāki par pieaugušas uts aci." Sākumā biedrības locekļi šīs ziņas neuztvēra sevišķi nopietni, bet pēc tam biedrības loceklis Huks, kurš savā grāmatā "Mikrogrāfija" pirms 15 gadiem bija aprakstījis pašu labāko tā laika mikroskopu, lai arī ar grūtībām, tomēr piparu uzlējumā novēroja daudz sīku radību un parādīja tos pārējiem biedrības locekļiem. Lēvenhūka mikroskopam vajadzēja būt daudzkārt labākam, ja viņš varēja saredzēt vēl sīkākas būtnes.

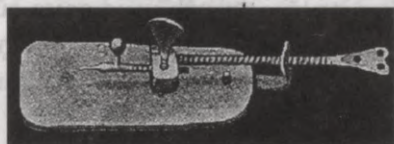
Tika nolemts lūgt Lēvenhūku publicēt sava darba noslēpumus. Taču stūrgalvīgais holandiecis visādi izvairījās kaut ko izpaust par savu mikroskopu. Biedrība nosūtīja pie Lēvenhūka savu pārstāvi, lai mikroskopu nopirktu. Tad Lēvenhūks arī atklāja savu noslēpumu, bet kategoriski atteicās pārdot kaut vienu no saviem daudzajiem mikroskopiem. Lēvenhūks izrādījās vadmalas tirgonis, kurš pats izgatavoja mikroskopus. Viņš pats kausēja stiklu, slīpēja un pulēja lēcas, montēja tās starp sudraba un zelta diskiem. Labākās lēcas bija kniepadatas galviņas lielumā, un tās palielināja 270 reižu. Lēvenhūks ar savu mikroskopu pirmais ieraudzīja viensūnu ūdensaugus un baktērijas. Pēc Lēvenhūka nāves 20 mikroskopu pārgāja Karaliskās biedrības īpašumā. Taču vēlāk tie kaut kur noslēpumaini pazuda.

17. gadsimtā zinātne būtiski atšķīrās no 16. gadsimta zinātnes, kad galvenās metodes bija novērojumi un spriedumi. 17. gadsimtā pie šīm metodēm pievienojās arī eksperiments. Gadsimta sākumā eksperimentu pieteica teorētiķis Frānsiss Bēkons, bet gadsimta otrajā pusē to praktiski realizēja Roberts Huks. Bēkona idejas ir stipri ietekmējušas Huku, par to liecina arī šāds fakts. 1627. gadā pēc Bēkona nāves tika izdots viņa utopiskais romāns "Jaunā Atlantīda", kas attēloja ideālu valsti. 1660. gadā Londonā iznāca cits darbs "Jaunā Atlantīda, ko iesācis lords Verulamskis, turpinājis R. H. Eksvairs". Par šīs grāmatas autoru uzskata Robertu Huku.

Diemžēl līdz šim nav izdevies atrast Huka portretu. Ir mēģināts to veidot pēc laikabiedru nostāstiem. Ričards Vollers dod šādu Huka raksturojumu: "Kas attiecas uz viņa izskatu, tad viņš bija neapprakstāms; būdams ļoti salicis, kaut arī, kā esmu dzirdējis no viņa paša un no citiem, apmēram līdz 16 gadu vecumam viņš bijis slaidis. Šajā vecumā viņš sāka sakumpt, ko veicināja pastāvīgais darbs pie virpas un citas augumu deformējošas nodarbības, jo vairāk tāpēc, ka viņa ķermenis bija vājš. Reizē ar gadiem tas viss pastiprinājās un beigu beigās kļuva visai pamanāms: Huks likās ļoti maza auguma, kaut arī, spriežot pēc viņa locekļiem, bija pietiekami garš. Viņš vienmēr bija ļoti bāls un kalsns, bet vēlāk palika tikai kauli un āda, ļoti kārnus. Jaunības gados viņam bija pelēkas,



Lēvenhūks
(1632 – 1723)



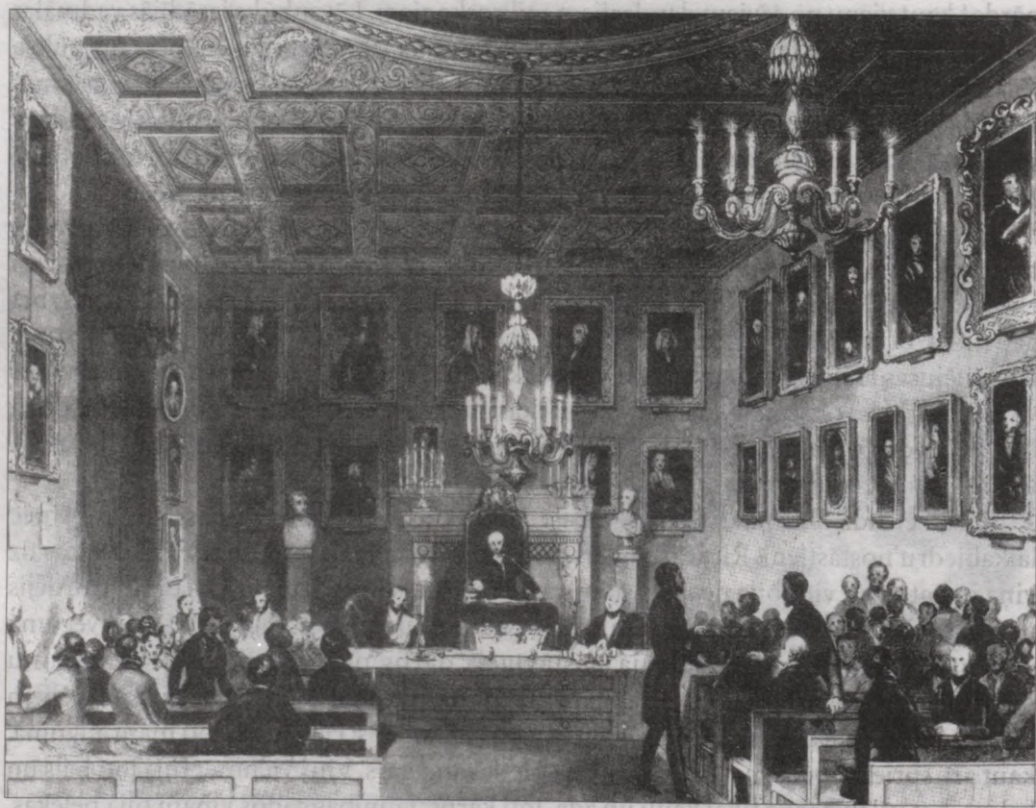
Lēvenhūka mikroskops

uz āru izspiedušās acis ar asu, gudru skatienu. Viņam bija plāns, mērena augstuma un garuma deguns, vidēja lieluma mute ar plānu augšlūpu, ass zods un augsta piere, vidēja lieluma galva, tumši, ļoti gari kastankrāsas mati, kas nevērigi krita pāri sejai – neapgriezti un gludi... Huks gāja uz priekšu saliecies un ļoti ātri, jo viņa kājas nesa vieglu ķermeni. Viņš bija gudrs un darbīgs, sevišķi jaunības gados.”

Ir arī norādījumi, ka Huks bijis sīkumains, nesaticīga rakstura un ka Hukam bijuši strīdi ar citiem zinātniekiem par gaismas dabu, gravitāciju u. c. jautājumiem, bieži vien ne bez pamata.

Jau 1655. – 1656. gadā Huks Oksfordā bija pazīstams kā izcils mehāniķis. 1655. gadā Huks sāka strādāt pie Roberta Boila (1627 – 1691) un 1658. gadā Boila uzdevumā konstruēja un uzbūvēja gaisa sūkni. 1665. gadā publicēts pazīstamais Huka darbs “Mikrogrāfija”, kur aprakstīti viņa eksperimenti ar mikroskopu.

17. gadsimta 40. gados no Londonas un Oksfordas zinātniekiem izveidojās grupa, kuras locekļi sanāca uz sēdēm apspriest dažādas matemātikas un dabas zinātņu problēmas. 1662. gadā Kārlis II tai piešķīra Karaliskās biedrības nosaukumu. Huks bija šīs biedrības kurators. Kuratora pienākums bija sagatavot katrai sēdei trīs vai četrus eksperimentus. Eksperimentu sagatavošana prasīja līdzekļus, kādu Karaliskajai biedrībai praktiski nebija. Izdevumi daļēji tika segti ar Huka personiskajiem līdzekļiem, ko viņš ieguva no savas arhitekta prakses. 1666. gadā Londonas centru izpostīja liels ugunsgrēks.



Londonas Karaliskā biedrība

Puse Londonas iedzīvotāju palika bez mājokļiem. Huks piedalījās jaunā Londonas plānojuma izstrādāšanā un vadīja daudzu būvju celtniecību.

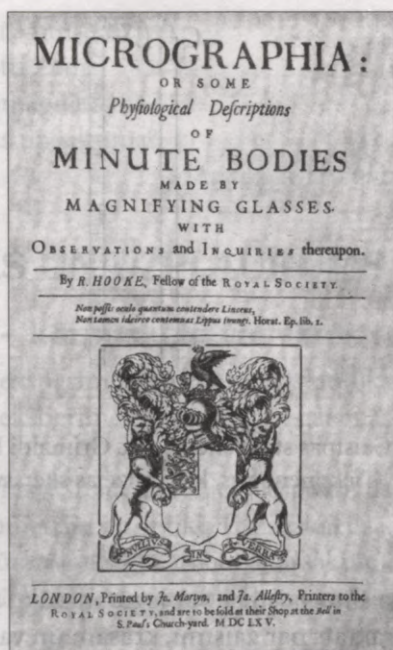
Londonas Karaliskās biedrības protokoli periodā no 1662. līdz 1665. gadam parāda, ka optiskajos pētījumos galvenā vērība tikusi veltīta dažādu vielu gaismas laušanas pētīšanai, lai pārbaudītu laušanas likumu. Huks šim nolūkam izveidoja refraktometru šķidrums laušanas koeficientu mērīšanai. Taču šajos eksperimentos netiek minēts, ar kādas gaismas stariem izdarīti mērījumi. Par gaismas dispersiju vēl nezināja. Darbā "Mikrogrāfija" 1665. gadā Huks rakstīja: "Visas dažādās krāsu iespējas rodas no šo divu krāsu dažādām pakāpēm, bet konkrēti no dzeltenās un zilās vai arī to sajaukuma ar gaismu vai tumsu, t. i., baltu un melnu."

1675. gadā Huks uzstājās Karaliskās biedrības sēdē ar ziņojumu, kur izklāstīja savu izpratni par gaismu. "Gaisma – svārstību vai vibrācijas kustība vidē, kura rodas no tādas pašas kustības spīdošajā ķermenī, līdzīgi skaņai, kuru parasti skaidro ar vides vibrējošu kustību, kas to pavada un ko izraisa skaņošā ķermeņa vibrējošā kustība. Tāpat kā skaņā proporcionālās svārstības rada dažādas harmonikas, tā arī gaismai dažādas īpatnējas un patīkamas krāsas rodas, sajaucoties proporcionālām un harmoniskām kustībām. Pirmās uztver auss, bet otrās – acs."

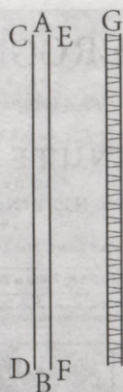
Huks 150 gadus pirms Freneļa izteica domu, ka gaisma izplatās kā šķērsvilnis. Pētot plānas kārtiņas, Huks novēroja krāsas atkarību no kārtiņas biezuma, taču nekādu likumsakarību nekonstatēja, prioritāti šajā jautājumā atstājot Ņūtonam. Jāpiebilst, ka Huks bija nesamierināmi noskaņots pret Ņūtona optiskajiem pētījumiem, apstrīdot Ņūtona prioritāti gandrīz vai visos tā atklājumos. Taču jaunas idejas par gaismas dispersiju, par balto gaismu un par krāsām izvirzīja Ņūtons.

Itāļu zinātnieks Frančesko Grimaldi (1618 – 1663), novērojot apgaismojumu, ko tumšā telpā dod šaurs gaismas kūlis, ja tā ceļā novieto kādu priekšmetu, konstatēja, ka uz ekrāna ēna ir platāka, nekā vajadzētu būt ģeometriskai ēnai, turklāt abās pusēs no tās veidojas trīs krāsainas joslas. Joslu iekšpusē bija zilas, bet ārpusē – sarkanas. Ja ar šo gaismas kūli apgaismoja otru atveri necaurspīdīgā ekrānā, tad ieguva centrālo apgaismoto laukumu, kura izmēri ievērojami pārsniedza pēc staru optikas likumiem aprēķināto, tā malas bija krāsainas.

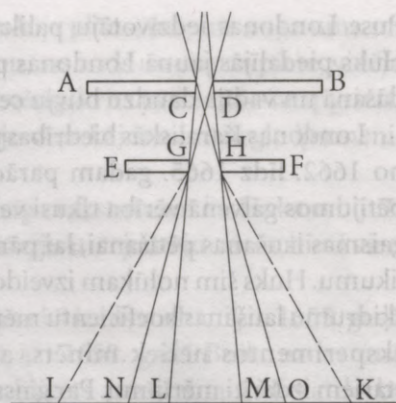
Pēc daudziem eksperimenta variantiem, ievietojot stara ceļā tievu diegu, putnu spalvas vai audumu, Grimaldi secināja, ka šķēslis gaismas fluidā izraisa viļņus, kas apliecās ap šķērsli. Izmantojot divus gaismas kūļus, vietā, kur abi kūļi pārklājas, novēroja gaišākus un tumšākus apgabalus. Grimaldi nonāca pie svarīga secinājuma, ka, piejaucot



Huka grāmatas "Mikrogrāfija" titullapa



Gaismas stara shēma pēc Grimaldi hipotēzes.
Tiek pieņemts, ka realizējas šķērsvārstības



Grimaldi difrakcijas eksperiments.
Gaisma, izejot caur atverēm CD un GH,
veido uz ekrāna gaismas plankumu LM,
kuru apņem krāsaini gredzeni

gaismu gaismai, var iegūt mazāku apgaismojumu. Grimaldi darbs "Fizikāli matemātisks traktāts par gaismu, krāsām un varavīksni", kura apjoms ir 535 lappuses, publicēts pēc autora nāves 1665. gadā.

Ši ir pirmā rakstītā liecība par difrakcijas parādības novērošanu. Apgaismojuma vājināšanās interferences daba vēl netika atklāta. To 1801. gadā noskaidroja angļu fiziķis Tomass Jungs (1773 – 1829).

Grimaldi uzskatos par gaismu nav viennozīmības. Grimaldi apgalvo, ka gaisma ir substance, bet citviet akcentē gaismas viļņu īpašības. Viļņu hipotēzi Grimaldi izmanto, lai skaidrotu krāsu dabu, kas, pēc Grimaldi domām, ir gaismas sastāvdaļas: "Pastāv iespēja, ka gaismas pārveidošanās, kuras dēļ tā vienmēr iekrāsojas tā sauktajās šķietamajās krāsās jeb, precīzāk sakot, kļūst redzama kā krāsaina, ir noteikta tās viļņējādībā ar ļoti biežu vibrēšanu līdzīgi trīsām, kas izplatās ar sīku viļņošanu, tādējādi tā iedarbojas uz redzes orgānu noteiktā, tai raksturīgā veidā."

Savas viļņu hipotēzes pamatojumam Grimaldi min virkni argumentu, to skaitā analogiju ar skaņu, kuras dažādie augstumi, kā to norādīja Galilejs, ir atkarīgi no atšķirīgām gaisa svārstībām. Analogiskus eksperimentus veica arī Huks 1672. gadā, tātad vēlāk nekā Grimaldi. "Mikrogrāfijā", kas iznāca vienlaikus ar Grimaldi darbu, Huks apraksta eksperimentus ar plānām plēvītēm (ziepju burbuļiem, eļļas kārtiņām u. c.), kas ievietotas gaismas kūlī. Arī Huks šo kārtiņu krāsas centās skaidrot ar svārstību hipotēzes palīdzību.

Kas gan būtu mūsu dzīve,
Kas gan būtu Zeme
Bez elektromagnētisma,
Bez gaismas un siltuma?

Adams Mickevičs

2. FIZIKĀLĀS OPTIKAS RAŠANĀS UN UZPLAUKUMS

2. 1. No Ņūtona līdz Frenelim. Gaisma – korpuskula vai vilnis

Angļu fiziķa Izaka Ņūtona (1643 – 1727) optisko eksperimentu sākotnējais nolūks bija novērst optisko instrumentu trūkumus. Taču šie eksperimenti noveda pie gaismas dispersijas pētījumiem.

Ņūtons dzimis Vulsthorpā, netālu no nelielas pilsētiņas Grentemas. Lielu iespaidu uz Ņūtonu atstāja profesors Izaks Barouvs, kurš mācīja ģeometriju un optiku Trinitī koledžā. Par optiku Ņūtons sāka interesēties 1663. gadā. Vēlāk Ņūtons rakstīja: “1666. gada sākumā es izmantoju trīsskaldņu stikla prizmu, lai ar to izdarītu eksperimentus baltās gaismas sadalīšanā krāsu gaismās.”



Izaks Ņūtons.
1689. gada portrets

Eksperimentā Ņūtons izmantoja lēcu, apaļu diafragmu un prizmu. Par diafragmu kalpoja caurums loga aizvirtnī. Viņš ievēroja, ka loga aizvirtņa cauruma attēls aiz prizmas pagarinās un kļūst krāsains. Faktiski viņš ieguva Saules gaismas spektru. Ar otras prizmas palīdzību no spektra varēja iegūt atkal baltu gaismu.

Ņūtons apšaubīja Aristoteļa priekšstatus par gaismu un uzskatīja, ka Saules gaisma ir dažādu krāsu staru sajaukums, kas atšķiras ar spēju lūzt. Staru lūšanas spēja ir saistīta ar to krāsu. Šajā sakarībā Ņūtons rakstīja: “Tādā veidā tika atklāti attēla pagarināšanās patiesie cēloņi. Tas notiek tāpēc, ka gaisma sastāv no dažādas lūšanas spējas stariem.” Ņūtons kļūdaini uzskatīja, ka lūšanas spēja ir gaismas stara īpašība, ignorējot vielas lomu. Pēc Ņūtona domām, $n = A + \varphi(\lambda)$, kur A ir konstants lielums dotai vielai, $\varphi(\lambda)$ ir viļņu garuma funkcija, kas nav atkarīga no vielas. Tādā gadījumā relatīvā dispersija $(n - 1)/\Delta n$ ir konstante, kas vienāda visām dzidrām vielām. No šejienes izriet secinājums, ka nav iespējams novērst lēcu hromatisko aberāciju. Ņūtons uzskatīja, ka ar lēcu sistēmu iegūtajos attēlos nevar novērst krāsainās malas. Tādā veidā Ņūtons paziņoja nāves spriedumu ahromatiskajai optikai un uzskatīja lēcu objektīvu izgatavošanu par neperspektīvu. Tas izraisīja pastiprinātus pētījumus reflektoru izveidē un uz veselu gadsimtu aizkavēja lēcu sistēmu attīstību.

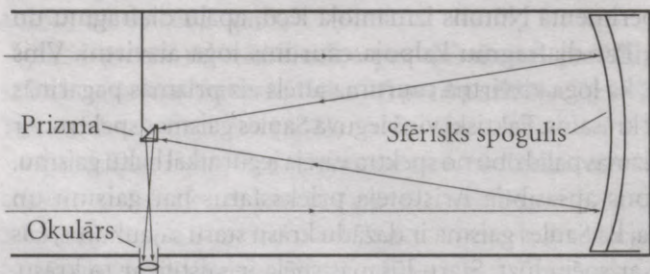
Kaut arī Ņūtons vēl neizprata vielas īpašību lomu gaismas staru laušanā, viņa eksperimenti ievadīja spektroskopijas kā jaunus optikas nozares rašanos. Angļu fiziķis D. Makdonalds 1962. gadā rakstīja: “Es cieši esmu iegaumējis, ka mēra epidēmija bija 1665. gadā, bet nākamajā – 1666. gadā notika lielais Londonas ugunsgrēks. Kad es vēl biju zēns, tad man šķita, ka šo notikumu galvenās sekas bija Svētā Paula katedrāles uzcelšana, ko veica



Zīmējums no Ņūtona grāmatas "Optika".
Baltās gaismas sadalīšana krāsu gaismās

sers Kristofers Rens. Tiešām, Svētā Paula katedrāle, bez šaubām, ir brīnišķīga celtne, bet Londonas pārbūve bija visai vērienīga, taču cilvēcei kopumā galvenie bija ne šie notikumi, bet gan tas, ka 1664. gadā Kembridžas universitātes studenti mēra draudu dēļ to uz laiku pameta un izklīda pa mājām. Viens no studentiem – Izaks Ņūtons – apmēram uz pusotru gadu atgriezās Vulsthorpā, dzimtajā pusē, un izdarīja šeit smalkus, tagad pasauleslavenus mērījumus.”

Taču Ņūtona pētījumi ievirzījās citā gultnē, tie bija saistīti ar reflektoru izveidi. Nav šaubu, ka hromatiskā aberācija bija pazīstama jau pirms Ņūtona, taču nevienam neienāca prātā to sasaistīt ar tālskata attēla slikto asumu. Neviens arī nemeklēja atrisinājumu, izmantojot atstarojošo optiku. Ņūtons atrada formulas hromatiskās aberācijas un trešās kārtas sfēriskās aberācijas izskaitļošanai. Viņš salīdzināja sfērisko un hromatisko aberāciju un secināja, ka “cēlonis tam, ka teleskopi neattīstījās līdz lielai pilnībai, nav neatbilstība sfēriskai formai, bet gan gaismas nevienādība”.



Ņūtona spoguļteleskopa shēma. Staru novirzīšanai okulārā izmantota pilnīgās iekšējās atstarošanās prizma

Ar nesfērisku lēcu izgatavošanu Ņūtons nodarbojās jau studenta gados. Jāpiebilst, ka šis uzdevums ir grūti izpildāms pat mūsdienās, tādēļ viegli saprast, kādas grūtības bija jāstāp Ņūtonam, izgatavojot asfēriskas lēcas. Tādas lēcas Ņūtons tomēr ieguva, taču mums nav nekādu datu par to kvalitāti. Ņūtona rokrakstos ir tikai lēcu slīpēšanas iekārtas

zīmējums, kādu viņš izmantojis savos eksperimentos. Ir zināms, ka optiskās aparatūras uzlabošanas iespējas viņš saskatīja, pārejot no refraktoriem uz reflektoriem.

Pirmajam spoguļteleskopam, kuru 1668. gadā izgatavoja Ņūtons, spoguļa diametrs bija 2,5 cm, bet garums 15 cm. Neskatoties uz nelielajiem izmēriem, teleskopa kvalitāte bija laba, un ar to varēja novērot Jupitera pavadoņus. Savu otro spoguļteleskopu Ņūtons izgatavoja 1671. gadā. Tas bija 120 cm garš, un tā spoguļa liekuma rādiuss bija lielāks par 2 m. Teleskops tika nosūtīts uz Londonu, kur to aplūkoja karalis un Karaliskās biedrības locekļi. Teleskops tika augstu novērtēts un 1672. gada 11. janvārī Ņūtons kļuva par Londonas Karaliskās biedrības locekli.

1672. gada 6. februārī Ņūtons ziņoja Karaliskajā biedrībā par jauno gaismas un krāsu teoriju. Taču cerētās atzinības vietā izpelnījās Huka, Heigensa, beļģu zinātnieka Ļukasa u. c. zinātnieku kritiku. Turklāt Ņūtonu apvainoja plāgiātā, citu atklājumu piesavināšanā.

Tādu apvainojumu izvirzīja Huks, kurš sev pierakstīja prioritāti eksperimentos ar plāno slānišu krāsām. Gotfrīds Leibnics (1646 – 1716) apšaubīja Ņūtona prioritāti jaunas matemātiskās metodes izgudrošanā, Huks – gravitācijas atklāšanā. Būtībā šie atklājumi visas zinātnes attīstības gaitā jau bija tik tālu sagatavoti, ka tiem bija jānotiek. Ņūtons pētījumus noveda līdz pilnīgākai nobeigtībai, tāpēc Ņūtonu uzskatīja par minēto atklājumu autoru.

Ņūtona slimīgā neiecietība pret kritiku viņam traucēja pieņemt arī pamatotus aizrādījumus, tostarp Lukasa konstatējumu, kurš atklāja dispersijas atkarību no vielas. Ņūtons nevēlējās apspriest arī visai auglīgo gaismas izplatīšanās principu, ko izvirzīja Heigenss.

Sarežģītas attiecības Ņūtonam bija ne tikai ar Huku. Ņūtonam vēlāk veidojās pārpratumī arī ar Griničas observatorijas dibinātāju angļu astronomu Džonu Flemstīdu (1646 – 1719), kura novērojumus Ņūtons izmantoja. Sākot ar 1670. gadu, Flemstīds apguva astronomiju Kembridžā. Tas bija Anglijas jūras varenības attīstības periods, kad



Griničas observatorija 1680. gadā.

Griničas observatorija dibināta 1675. gadā. Tā paredzēta galvenokārt zvaigžņu, Saules un Mēness koordinātu noteikšanai. Šāda informācija nepieciešama jūrniecībā. Meridiāns, kurš šķērso Griničas observatorijas pasāžinstrumentu (Griničas meridiāns), 1884. gadā pieņemts par sākumu ģeogrāfiskā garuma un laika joslu noteikšanai. Londonas tuvums traucēja novērojumus, tāpēc 20. gadsimta piecdesmitajos gados observatoriju pārcēla 70 km uz dienvidaustrumiem no Londonas un izvietoja 15. gadsimta pili Herstmonsū. Instrumenti, tajā skaitā 28 collu un 26 collu refraktori un 98 collu reflektors, tika uzstādīti pils tuvumā. Griničas meridiāns saglabājis savu iepriekšējo stāvokli. Observatorija kopš 1767. gada izdod "Jūras almanaha" gadagrāmatu. Griničas observatorijas direktoram pieder Karaliskā astronoma tituls

bija nepieciešams precīzi noteikt kuģu koordinātas atklātā jūrā. Šim nolūkam bija vajadzīgs precīzs zvaigžņu stāvokļu katalogs. Flemstīds pārliecināja Kārli II Stjuartu par šāda kataloga nepieciešamību. Karalis norīkoja Flemstīdu par galma astronomu ar 100 mārciņu lielu algu gadā. 1675. gadā Flemstīds Londonas tuvumā uz Griničas paugura sāka observatorijas celtniecību. Valsts kase nespēja nodrošināt observatoriju ar līdzekļiem instrumentu iegādei, tādēļ Flemstīds tos pirka par personisko naudu. 1689. gadā Flemstīds sāka darbu, lai noteiktu zvaigžņu un planētu koordinātas. Izmantojot 20 000 mērijumu rezultātus, Flemstīds izveidoja 2935 zvaigžņu stāvokļu katalogu, kur tika sasniegta vēl nebijusi precizitāte.

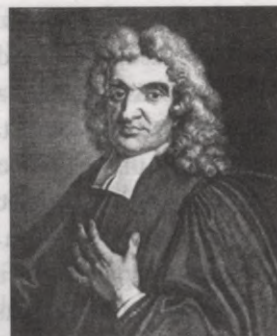
Flemstīds ilgus gadus veica rūpīgus astronomiskus novērojumus un apgādāja ar šiem novērojumiem arī Ņūtonu. Sākot ar 1681. gadu, Ņūtons regulāri sarakstījās ar Flemstīdu, saņemot informāciju par Haleja komētu

(1680. g.), kā arī par Jupitera un Saturna orbītām un Jupitera pavadoņiem. Ņūtons vairākkārt izteicis Flemstīdam pateicību par piegādātajām ziņām.

1694. gadā Ņūtons apmeklēja Griniču, kur Flemstīds viņam parādīja vairāk nekā 150 Mēness novērojumu datu, kas ieinteresēja Ņūtonu. Mēnesi pēc Griničas apmeklējuma Ņūtons rakstīja Flemstīdam vēstuli ar lūgumu atsūtīt novērojumu datus, kas nepieciešami Mēness teorijas izstrādei. Pārpratumi zinātnieku starpā radās 1695. gadā. Tā paša gada 20. jūlija vēstulē Ņūtons pateicās Flemstīdam par atsūtītajiem materiāliem, lūdzot Flemstīdu paciesties, kamēr viņš (Ņūtons) pabeigs sastādīt vienādojumus, un piebilstot, ka negrib ņemt vērā Flemstīda neapmierinātību. Stāvoklis saasinājās 1705. gadā pēc tam, kad princis Džordžs apmeklēja Karalisko biedrību un tika ievēlēts par tās locekli. Pateicībā par parādīto godu viņš apsolija līdzekļus lielā zvaigžņu kataloga izdošanai pēc Griničas observatorijas novērojumiem.

Ņūtons nekavējoties sāka kataloga izdošanu. Tika izveidota komisija Ņūtona vadībā. Viens no komisijas locekļiem bija Ņūtona draugs astronoms Edmunds Halejs (1656 – 1742). Viņš 1676. gadā Sv. Helēnas salā bija pētījis dienvidu puslodes zvaigznes, bet laikā no 1698. gada līdz 1706. gadam – Zemes magnētismu. Edmunds Halejs cēlies no bagātas rūpnieka ģimenes, un 1687. gadā viņš par saviem personiskajiem līdzekļiem izdeva Ņūtona darbu “Dabas filozofijas matemātiskie principi”. Pēc Flemstīda nāves 1720. gadā E. Halejs tika norīkots par galma astronomu un Griničas observatorijas direktoru. Tā kā Flemstīda ģimene aizveda no observatorijas Flemstīdam piederošos instrumentus, Edmunds Halejs panāca 500 mārciņu sterliņu asignējumu un iegādājās jaunus instrumentus. Halejs veica lielu darbu: izskaitļoja 24 komētu orbītas, kā arī noskaidroja, ka komētas, kas novērotas 1531., 1607. un 1682. gadā, ir viens un tas pats debess ķermenis ar 76 gadus ilgu apriņķošanas periodu. Viņš paredzēja šīs komētas parādīšanos 1758. gadā. Perihēlijā komēta nonāca 1759. gada 12. martā. Tagad šo objektu sauc par Haleja komētu. Pēdējoreiz Haleja komētu novēroja 1986. gada janvārī. Izrādījās, ka šī komēta līdz tam novērota jau 30 reižu – pirmoreiz 446. gadā p. m. ē.

Paņēmusi Flemstīda novērojumu datus, komisija izrikojās tā, it kā kataloga autortiesības piederētu komisijai, nevis Flemstīdam. Flemstīds protestēja, taču Flemstīda protesti netika ievēroti. Kataloga pirmais sējums iznāca 1707. gadā. 1710. gadā Ņūtons panāca karalienes piekrišanu, lai turpinātu kataloga izdošanu un izveidotu kuratoru komisiju Griničas observatorijai, kuru vadītu Ņūtons. Tas Flemstīdam bija liels trieciens. 1711. gada 11. oktobrī komisija uzklauzīja Flemstīda atskaiti par instrumentu stāvokli. Flemstīds šo sēdi apraksta šādi: “Es tiku izsaukts komitejā, kurā bez viņa (Ņūtona) bija tikai divi ārsti (dr. Slans un otrs, tikpat mazzinošs kā viņš). Prezidents ārkārtīgi satraucās un nonāca pilnīgi nepieklājīgā uzbudinājumā. Es nolēmu tomēr nepievērst uzmanību viņa nepiedienīgajām runām un norādīju, ka visi instrumenti observatorijā ir mani personiskie. Tas viņu sadusmoja. Tā kā viņam bija vēstule no valsts sekretāra sakarā ar norīkošanu par observatorijas kuratoriem,

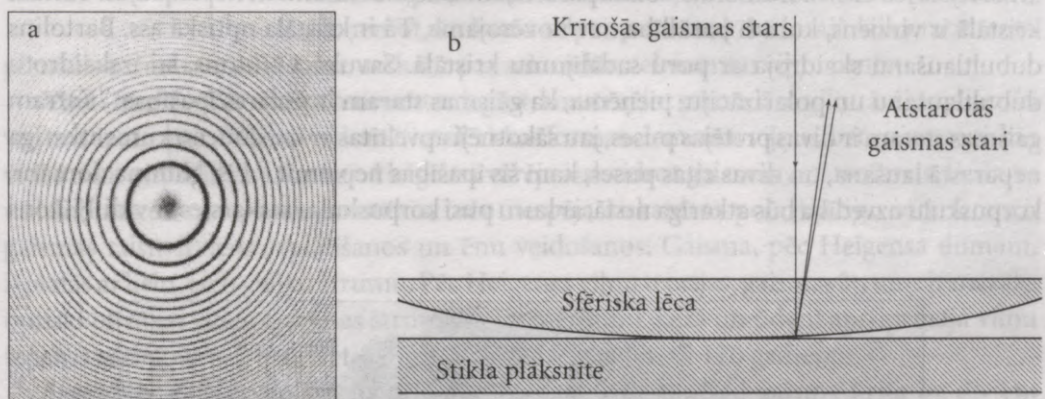


Džons Flemstīds
(1646 – 1719)

viņš sacīja, ka man nebūs ne observatorijas, ne instrumentu. Es sāku sūdzēties, ka manu katalogu iespiež Halejs bez manas ziņas un ka man nozagti mana darba augļi. Tad viņš saniknojās un nosauca mani visādos sliktos vārdos, par kucēnu u. c., kādus tikai varēja izdomāt. Es viņam atbildēju, ka viņam vajadzētu apvaldīt savu kaisli un valdīt pār sevi.”

Šis Ņūtona izlēciens raksturo ne tik daudz pašu Ņūtonu, cik tā laikmeta tikumus. Flemstīds pret komisijas veikto viņa darbu uzurpāciju protestēja savdabīgā veidā. 1712. gadā, ieguvīš no Haleja 300 eksemplārus iespiesto katalogu, viņš tos sadedzināja. Šo nesaskaņu starp Flemstīdu un Ņūtonu izmantoja Leibnīca piekritēji strīdā par prioritāti diferenciālrēķinu izgudrošanā.

Savu galveno darbu optikā ar nosaukumu “Optika” Ņūtons publicēja 1704. gadā. “Optika” sastāv no trim grāmatām. Pirmajā aplūkota atstarošānās, laušana un gaismas dispersija (krāsu analīze un sintēze), kā arī pielikums, kas veltīts varavīksnes skaidrojuma un teleskopa aprakstam.



Ņūtona gredzeni (a) un to veidošanās shēma (b)

Otrajā grāmatā aplūkotās plāno kārtiņu krāsas, bet trešā grāmata satur īsu difrakcijas eksperimentu aprakstu un beidzas ar 31 teorētiska rakstura jautājumu. Ņūtona dzīves laikā “Optika” iznāca trīs reizes: 1704., 1717. un 1721. gadā. 1706. gadā “Optika” tika izdota latīņu valodā, bet 1720. gadā – franču valodā.

Huks pētīja nemainīga biezuma plānas kārtiņas. Turpretī Ņūtons – mainīga biezuma gaisa slānišus. Viņš novēroja gaismas atstarošanu no lēcas ar mazu liekumu, kas novietota uz plakanas stikla virsmas. Vietā, kur lēca pieskaras stikla virsmai, novēroja tumšu plankumu, kuru apņēma varavīksnes krāsas un tumši gredzeni – Ņūtona gredzeni. Šo gredzenu rādiusi palielinājās proporcionāli kārtas skaitļa kvadrātsaknei. Meklējot sakarību starp gaisa slāņa biezumu un gaismas krāsu, Ņūtons atklāja gaismas periodiskumu. Ņūtons labi saprata gaismas dabas sarežģīto raksturu, ko bija grūti izskaidrot vienīgi no viņu hipotēzes vai arī tikai no korpuskulārās hipotēzes viedokļa. Viņš labi iztēlojās viņu kustību. Arī interferences gredzenu periodiskums izraisīja priekšstatu par viņu procesu, kas virza gaismas korpuskulu kustību. Ņūtons strādāja

pie gaismas ētera hipotēzes, taču pēdējos gados uzskatīja, ka šī hipotēze nav perspektīva. Grūtības, kas radās, cenšoties izskaidrot gaismas taisnvirziena kustību un polarizāciju ar viļņu teoriju, bija tik būtiskas, ka Ņūtons attīstīja gaismas korpuskulāro teoriju. Viņš uzskatīja, ka priekšmeti izstaro materiālu daļiņu plūsmu, kuru mehāniskā iedarbība uz tīkliem izraisa redzes sajūtu. Gaismas taisnvirziena kustība izriet no mehānikas likumbām. Ņūtons uzskatīja, ka gaismas kustības ātrums ir galīgs lielums. Korpuskulārā teorija gaismas laušanu uz robežas starp divām vidēm skaidro ar gaismas daļiņu pievilkšanu optiski blīvākai videi. No tā izriet, ka gaismas ātrumam arī jābūt lielākam optiski blīvākā vidē. Gaismas krāsa ir atkarīga no korpuskulu lieluma. Sarkanai gaismai atbilst lielākas korpuskulas, violetai – mazākas.

Dāņu fiziķis Erasmus Bartolins (1625 – 1698) 1669. gadā atklāja gaismas dubultlaušanu, t. i., gaismas stara sadalīšanos divos staros Islandes špata (CaCO_3) kristālos. Viens no šiem stariem pakļaujas laušanas likumam. Tas ir kārtējais jeb ordinārais stars. Otrs – ārkārtējais jeb ekstraordinārais – stars parastajam laušanas likumam nepakļaujas. Turklāt kristālā ir virziens, kurā šī parādība nav novērojama. Tā ir kristāla optiskā ass. Bartolins dubultlaušanu skaidroja ar poru sadalījumu kristālā. Savukārt Ņūtons, lai izskaidrotu dubultlaušanu un polarizāciju, pieņēma, ka gaismas staram ir polāras īpašības. “Katram gaismas staram ir divas pretējas puses, jau sākotnēji apveltītas ar īpašību, no kuras atkarīga neparastā laušana, un divas citas puses, kam šīs īpašības nepiemīt.” Pēc Ņūtona domām, korpuskulu uzvedība būs atkarīga no tā, ar kuru pusi korpuskulas saskarsies ar vidi. Ņūtons



Gaismas stara sadalīšanās divos staros Islandes špata (CaCO_3) kristālā.
Tas izraisa attēla dubultošanu



Kristiāns Heigenss
(1629 – 1695)

novēroja arī difrakciju, ko rada mats, sprauga un ķīlis. Viņš secināja, ka gaismas daļiņas mijiedarbojas ar ķermeņa daļiņām un tāpēc maina sākotnējās kustības virzienu.

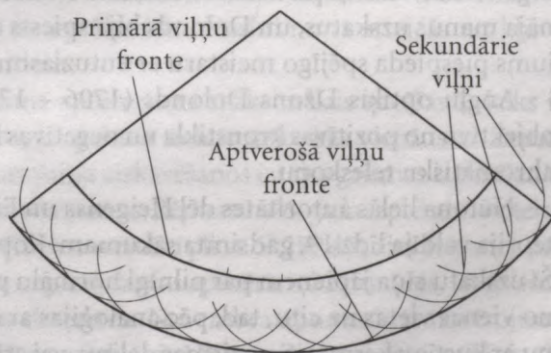
Pret gaismas korpuskulu teoriju iebilda holandiešu fiziķis Kristiāns Heigenss (1629 – 1695), kurš 1678. gadā izstrādāja gaismas viļņu teoriju. Heigenss studēja tieslietas, taču aizrāvās ar dabaszinātnēm. 1666. gadā viņš pārcēlās uz Parīzi, kur nodzīvoja 15 gadus. Tad atgriezās Hāgā. Heigenss bija viens no tālaika spējīgākajiem zinātniekiem. Popularitāti viņš iemantoja galvenokārt ar gaismas viļņu teorijas izstrādāšanu.

Gaismas viļņi, pēc Heigensa domām, ir pasaules ētera daļiņu “elastīgi impulsi”. Heigenss nerunāja par viļņiem kā periodiskiem procesiem telpā un laikā. Viņš aplūkoja viļņu fronšu izplatīšanos un izstrādāja metodi, kā šīs frontes atrast, pieņemot, ka katru telpas punktu, kur dotajā laika momentā pienācis primārais vilnis, var uzskatīt par sekundāru elementārviļņu centru.

Viļņu fronti vēlākos laika momentos iegūst, konstruējot sekundāro viļņu ārējo aplieцоšo virsmu. Izotropās vidēs var iedomāties sfēriskas formas elementārviļņus, bet anizotropiskās vidēs tie ir elipsoidālas formas. Heigenss varēja izskaidrot gaismas atstarošanas, laušanu un dubultlaušanu vienass kristālos, taču nespēja izskaidrot polarizāciju, interferenci, gaismas taisnvirziena izplatīšanos un ēnu veidošanos. Gaisma, pēc Heigensa domām, izplatās ar lielu, taču galīgu ātrumu. Pēc Heigensa viļņu teorijas, gaismas ātrums ir mazāks optiski blīvākai videi. Gaismas ātruma tiešie mērījumi gaisā un ūdenī apstiprināja viļņu teorijas secinājumus, bet, lai tas notiktu, vajadzēja paiet vēl 170 gadiem.

Sarežģītāk bija ar polarizācijas parādību skaidrošanu. Kad gaisma krita uz diviem Islandes špata kristāliem, Heigenss novēroja vai nu divus, vai arī četrus gaismas kūļus. Ja kristālu galvenie šķēlumi bija paralēli, tad ieguva tikai divus kūļus. Par to Heigenss rakstīja: “Pareizi lauztais stars, izejot caur augšējo kristālu, zaudē spēju ierosināt kustību matērijā, kas kalpo nepareizajai laušanai, bet nepareizi lauztais stars zaudē spēju, kas nepieciešama, lai ierosinātu kustību matērijā, kura kalpo pareizajai laušanai.” Ja kristālu galvenie šķēlumi ir savstarpēji perpendikulāri, “tad stars, ko iegūst pareizā laušanā, pakļaujas vairs tikai nepareizai laušanai apakšējā kristālā, un otrādi, stars, ko iegūst nepareizā laušanā, pakļaujas vairs tikai pareizai laušanai”. Atkarībā no pagriešanas leņķa mainās parastā un neparastā stara intensitātes attiecība.

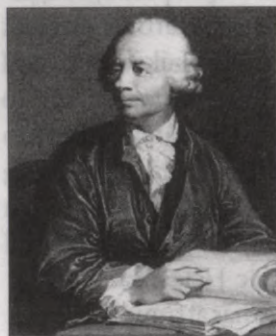
Heigenss nonāca tuvu polarizācijas būtības izpratnei, taču to traucēja valdošais uzskats par viļņu garensvār-



Aptverošās viļņu frontes konstruēšana pēc Heigensa metodes

stībām. Viņš rakstīja: "Gaismas stari tāpēc, ka izgājuši cauri pirmajam kristālam, ieguvuši zināmu formu vai izvietojumu, tādēļ, sastopot otra kristāla struktūru vienā stāvoklī, tie var ierosināt kustībā abas atšķirīgās matērijas, kas kalpo abiem laušanas veidiem, bet, sastopot otru kristālu citā stāvoklī, tie var ierosināt kustībā tikai vienu no šīm matērijām." Heigenss pētīja dubultlaušanu arī kvarca kristālos un ieviesa jēdzienu "kristāla ass".

Heigensam ir nopelni arī citās nozarēs: 1655. gadā viņš pilnveidoja teleskopu, atklāja Saturna gredzenus un pirmo pavadoni, konstruēja okulāru (Heigensa okulārs), kuru izmanto arī mūsdienās. 1657. gadā, balstoties uz Galileja atklāto svārsta likumu, veiksmīgi izmantoja svārstu pulksteņos gaitas stabilizēšanai. Viņš konstruēja svārstu pulksteņi un izstrādāja tā teoriju. Heigenss kopā ar Huku noteica termometra pastāvīgos punktus (1665. g.). Ir saglabājusies informācija, ka Heigenss 1656. gadā, izmantojot uzlabotu tumšo kameru, projicējis attēlus uz ekrāna. Viņu uzskata par "laternu maģijas" atklājēju.



Leonards Eilers
(1707 – 1783)

Leonards Eilers (1707 – 1783) uzstājās pret korpuskulāro teoriju, viņš gaismas krāsu saistīja ar svārstību frekvenci. Eilers ieviesa praktiskajā optikā aprēķina metodes. Tajā laikā vēl nebija izstrādāta optisko sistēmu aberāciju teorija. Bija pazīstami jēdzieni "sfēriskā un hromatiskā aberācija" un "astigmatisms". Eilers asi nostājās pret Ņūtona apgalvojumu par ahromatiskas optikas neiespējamību, 1747. gadā ierosinot izgatavot ahromatisku objektīvu no divām lēcām ar atšķirīgu dispersiju: no pozitīvas kronstikla lēcas un negatīvas flintstikla lēcas.

Eilers ir viens no sava laika talantīgākajiem zinātniekiem. Dzimis un izglītību guvis Šveicē, ilgus gadus strādājis Berlīnē un Pēterburgā. Eilers publicējis ap 850 zinātnisku darbu matemātikā, mehānikā un fizikā.

1774. gadā Eilers apraksta ahromatiskas sistēmas tapšanas vēsturi: "Mūsu domas drīz izpelnījās nelaiķa Dolonda niknu kritiku, kurš vēl ilgu laiku uzskatīja, ka lielā Ņūtona pierādījums ir tik stipri pamatots, ka nevar būt kļūdainis. Lai apstiprinātu savas domas, viņš uzsāka pētījumus par gaismas laušanu dažādās caurspīdīgās vielās, sevišķi par laušanu dažādās stikla šķirnēs. Šie eksperimenti pilnīgi apstiprināja manus uzskatus, un Dolonds bija spiests atzīt savu kļūdu. Tieši šis svarīgais atklājums piespieda spējīgo meistarū ar entuziasmu ķerties pie parasto lēcu uzlabošanas."

Angļu optiķis Džons Dolonds (1706 – 1761) 1757. gadā izgatavoja ahromatisku objektīvu no pozitīvas kronstikla un negatīvas flintstikla lēcas. 1758. gadā viņš uzbūvēja ahromatisku teleskopu.

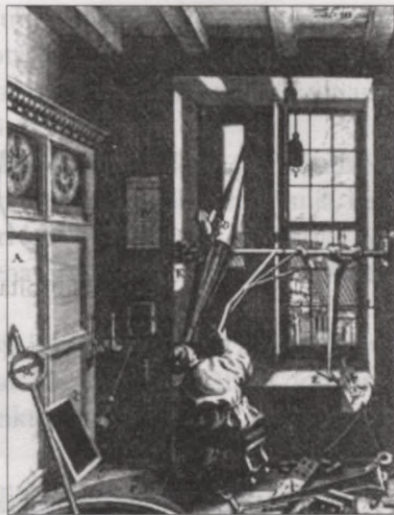
Ņūtona lielās autoritātes dēļ Heigensa un Eilera idejas ieviesās lēnām. Korpuskulārā teorija valdīja līdz 19. gadsimta sākumam. Kopumā 18. gadsimts bija Ņūtona gadsimts. Šī uzskatu cīņa jāpieņem par pilnīgi normālu parādību. Ja gaismas enerģiju var pārnest no vienas vietas uz citu, tad, pēc analogijas ar citām fizikas nozarēm, tas var notikt vai nu ar kustīgu ķermeņu – gaismas daļiņu, vai arī ar viļņu starpniecību. 17. – 18. gadsimta fiziķi šos divus enerģijas kustības veidus uzskatīja par pilnīgi atšķirīgiem. 17. gadsimtā bija zināms, ka gaismas izplatīšanos var iztēloties ar staru starpniecību: no objektiem

var iegūt asas ēnas. Taču virkne eksperimentu ar maza izmēra objektiem, plānām kārtiņām un kristāliem uzrādīja tādas gaismas īpašības, kuras nevarēja izskaidrot staru optikas ietvaros. Tas arī izraisīja asas diskusijas.

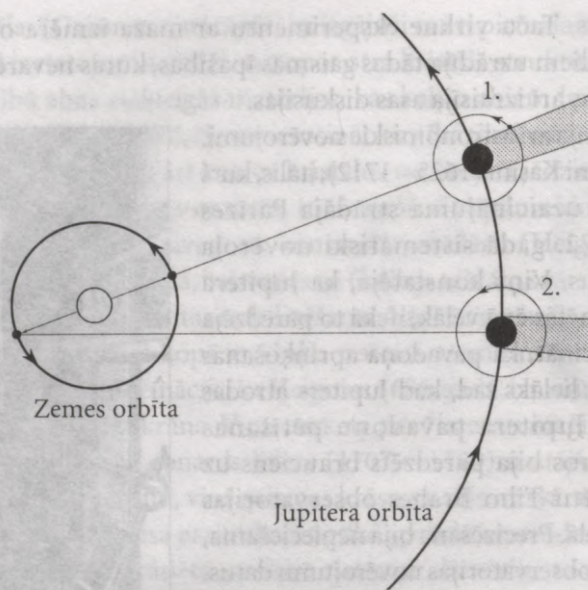
Problēmas izraisīja arī astronomiskie novērojumi. Astronoms Džovanni Kasīni (1625 – 1712), itālis, kurš pēc Ludviķa XIV uzaicinājuma strādāja Parīzes observatorijā, 1672. gadā sistemātiski novēroja Jupitera pavadoņus. Viņš konstatēja, ka Jupitera pavadoņi ieiet planētas ēnā vēlāk, nekā to paredzēja aprēķini. Varēja secināt, ka pavadoņa apriņķošanas laiks ap Jupiteru ir lielāks tad, kad Jupiters atrodas tālāk no Zemes. Jupitera pavadoņu pētīšanas programmas ietvaros bija paredzēts brauciens uz Dāniju, lai precizētu Tiho Brahes observatorijas koordinātas Vena salā. Precizēšana bija nepieciešama, lai varētu izmantot observatorijas novērojumu datus. Parīzes astronomi gribēja veikt Jupitera tuvākā pavadoņa aptumsuma novērojumus vienlaikus Parīzē un Vena salā. Uzdevumu uzticēja observatorijas astronomam Žanam Pikāram (1620 – 1682). Šajā laikā plaši pazīstams bija Kopenhāģenas universitātes matemātikas profesors Erasmus Bartolins. Pikārs 1671. gada jūlijā ieradās Kopenhāģenā un vērsās pēc palīdzības pie Bartolina. Uz Vena salu Pikāru un Bartolinu pavadīja Bartolina skolnieks Ole Rēmers (1644 – 1710). Starp citu, vēlāk Rēmers kļuva par Bartolina znotu. Šajā laikā Brahes observatorija bija gandrīz sagrauta, taču Pikāram ar Rēmera palīdzību izdevās veikt plānotos novērojumus.

Pikārs uzaicināja Rēmeru strādāt Parīzes observatorijā. 1675. gadā Kasīni izteica domu, ka Jupitera pavadoņa aptumsuma kavēšanos varētu izskaidrot, pieņemot, ka gaismai vajadzīgs laiks, lai noietu attālumu no Jupitera līdz Zemei. Kasīni hipotēze neizraisīja zinātnieku ievērību. Arī Kasīni bija nekonsekvents. Pat vairāk – kad Rēmers šo faktu apstiprināja ar novērojumiem un aprēķiniem, Kasīni no tā atteicās un kļuva par vienu no asākajiem Rēmera oponentiem.

Zemei attālinoties no Jupitera, pavadoņa aptumsuma maksimālais kavēšanās laiks ir vienāds ar laika sprīdi, kāds nepieciešams, lai gaisma noietu ceļu, kas vienāds ar Zemes orbītas diametru. Rēmers pieļāva, ka aptumsuma aizkavēšanos izraisa gaismas izplatīšanās galīgais ātrums. Izmantojot daudzu gadu novērojumus, Rēmers 1676. gada septembrī noteica Jupitera pavadoņa aptumsuma, kas jānovēro 9. novembrī plkst. 5^h 25^m 45^s, aizkavēšanos par 10 minūtēm. Pēc Rēmera novērojumiem, nepieciešamas apmēram 22 minūtes, lai gaisma noietu ceļu, kas vienāds ar Zemes orbītas diametru. Novembra aptumsuma novērojumi spīdoši apliecināja Rēmera paredzējumu. 21. novembrī viņš Parīzes Zinātņu akadēmijā ziņoja par saviem novērojumiem un par no tiem izrietošajiem secinājumiem. Decembrī ziņojuma atreferējums tika nodrukāts "Zinātnieku Žurnālā" – pirmajā periodiskajā zinātniskajā



Rēmers astronomisko novērojumu laikā



Rēmera gaismas ātruma noteikšanas metode. Jupitera pavadoņa aptumsums 2. stāvoklī kavējas par 22 minūtēm

izdevumā, kas iznāca Parīzē. Nākamā gada vasarā to pārpublicēja Londonas Karaliskās biedrības "Filozofiskajos Rakstos". Rēmers savā ziņojumā bija ļoti uzmanīgs. Viņš neminēja gaismas ātruma konkrētu vērtību. Tajā laikā vēl nebija zināms precīzs Zemes orbītas diametra lielums. Vēlāk, izmantojot Rēmera novērojumu datus, ieguva gaismas ātruma vērtību 214 000 km/s. Franču astronoms Žans Delambrs (1749–1822) 1790. gadā un Pēterburgas astronoms Sergejs Glazenaps (1848–1937) 1874. gadā ieguva kavēšanās laiku atbilstoši 986 s un 1001,6 s, pēc kuru vidējās vērtības, ievērojot Zemes orbītas diametru $2,99 \cdot 10^8$ km, aprēķināja gaismas ātrumu – 300 800 km/s.



Žans Delambrs
(1749–1822)

Rēmera pētījumam vajadzēja ieviest skaidrību strīdā starp zinātniekiem. Keplers un Dekarts uzskatīja, ka gaismas ātrums ir bezgalīgi liels, turpretī Ņūtons un Huks domāja, ka tas ir galīgs. No šā jautājuma risinājuma daudzējādā ziņā bija atkarīga uzskatu attīstība par gaismas dabu.

Daudzi Rēmera laikabiedri Francijā viņu neatbalstīja. Viens no aktīvākajiem pretiniekiem izrādījās Kasīni, kurš izvirzīja daudzus iebildumus. Svarīgākais no tiem: netika konstatēta analogiska labi izteikta likumsakarība citu Jupitera pavadoņu kustībā. Atbildi uz šo jautājumu Rēmers vēl nevarēja sniegt, jo nebija izstrādāta lielo planētu pavadoņu kustības teorija, kur svarīgi ievērot to savstarpējo iedarbību. Ņūtona "Dabas filozofijas matemātiskie principi" parādījās tikai pēc 10 gadiem. Aiz Francijas robežām Rēmera pētījumus vērtēja pozitīvi: Holandē – Heigenss; Anglijā – Ņūtons, Flemstīds, Bredlijs, Halejs; Vācijā – Leibnics.

Ziņojums izraisīja kartēziēšu, kas tajā laikā bija uzkundzējušies akadēmijā, protestus. Kasīni, kurš sākumā atbalstīja Rēmeru, publiski noliedza gaismas ātruma galīgās vērtības esamību. Kaut arī daži zinātnieki atbalstīja Rēmeru, viņa secinājumi plašu atzinību neguva. Priekšstats par gaismas galīgu izplatīšanās ātrumu nostiprinājās pusgadsimtu vēlāk. Rēmera stāvokli sarežģīja arī tas, ka viņš bija protestants un viņa klātbūtne kato-liskajā Francijā nebija vēlama. 1681. gadā Rēmers atgriezās Kopenhāgenā, kur viņam tika piedāvāta matemātikas katedras vadība universitātē.

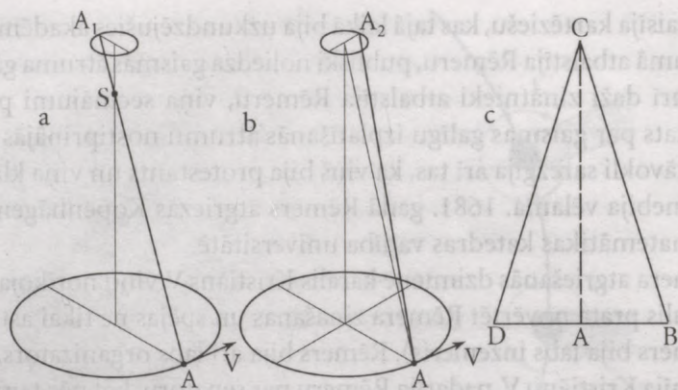
Drīz pēc Rēmera atgriešanās dzimtenē karalis Kristiāns V viņu norīkoja par karalisko astronomu. Karalis prata novērtēt Rēmera zināšanas un spējas ne tikai astronomijā, bet arī tehnikā (Rēmers bija labs inženieris). Rēmers bija arī labs organizators. Frederiks IV, kas tronī nomainīja Kristiānu V, padarīja Rēmeru par senatoru, bet pēc tam arī par Valsts domes vadītāju.

Par Rēmera astronomiskajiem novērojumiem Dānijā ir maz datu. Viņa novērojumu pierakstu lielākā daļa gāja bojā 1728. gadā ugunsgrēkā. Pēc dažu speciālistu domām, Rēmera veikumu var salīdzināt ar Tiho Brahes paveiktā darba apjomu, un tas bija izpildīts ar lielāku precizitāti.

Rēmers mira 1710. gadā, nesagaidījis apstiprinājumu savam atklājumam, kas sekoja pēc 17 gadiem, pētot citu astronomisku parādību – paralaksi. Tā kā novērotājs uz Zemes līdzdarbojās kustībā ap Sauli, tad virziens uz zvaigzni gada laikā mainās. Zvaigzne uz debess juma it kā apraksta noslēgtu trajektoriju. Trajektorijas forma ir atkarīga no zvaigznes stāvokļa attiecībā pret ekliptikas plakni. Vispārīgā gadījumā trajektorija ir elipse, kas zvaigznēm ekliptikas plaknē deģenerējas taisnes nogrieznī, bet zvaigznēm ekliptikas pola tuvumā – riņķa līnijā. Zvaigžņu paralakses pētījumi sākās tūlīt pēc Kopernika ideju izplatīšanās par Saules sistēmas uzbūvi. Taču ilgu laiku paralaksi neizdevās novērot. Vēlāk noskaidrojās, ka paralakses konstatēšanai nepieciešama ļoti augsta mērījumu precizitāte (1"). To 17. gadsimtā vēl nevarēja sasniegt. Neraugoties uz šo faktu, laiku pa laikam parādījās ziņas par paralakses novērošanu. Pikārs 1671. gadā ziņoja, ka Polārzvaigznes stāvoklis izmainās par 40". Līdzīgus mērījumus 1674. gadā izdarīja Huks un vēlāk arī Flemstīds. Taču 1695. gadā Kasīni parādīja, ka zvaigžņu paralaktiskai novirzei ir jābūt citādākai nekā augšminētajos novērojumos.

1725. gadā par zvaigžņu paralakses mērījumiem ieinteresējās angļu astronoms amatieris Semjuels Moline (1689 – 1728). Viņš aicināja sadarboties pētījumos vēl jauno, bet jau pieredzējušo astronomu, savu tautieti Džeimsu Bredliju (1693 – 1762). Zvaigzni Pūka γ viņi pirmoreiz novēroja 1725. gada 3. decembrī. Šī zvaigzne atrodas tuvu ekliptikas polam, tāpēc paralaktiskai novirzei jābūt līdzīgai riņķa līnijai. Novērojumos, kas tika izdarīti 5., 11. un 12. decembrī, manāmas novirzes nebija. Šķita, ka jauni novērojumi šajā gadalaikā nav vajadzīgi, jo zvaigznes stāvoklis nedeva cerības novērot kaut cik manāmu paralaktisko novirzi. Tikai ziņkārības dēļ Bredlijs izdarīja novērojumus 17. decembrī. Zvaigzne atradās nedaudz uz dienvidiem no agrākā stāvokļa. 20. decembrī novirze pastiprinājās.

Zvaigznes pārvietojums bija perpendikulārs virzienam, kādu varēja gaidīt paralakses dēļ. Tas pārsteidza Bredliju un Molini. 1726. gada martā zvaigzni varēja novērot jau 20" uz dienvidiem no stāvokļa, kādā tā bija novērojumu sākumā. Šajā laikā zvaigznes



Novērojamā zvaigznes novirze: a – paralakse, b – aberācija, c – zīmējums no Bredlija darba, kas veltīts aberācijas skaidrojumam

pārvietošanos nenovēroja. Tas vedināja Bredliju uz domām, ka zvaigzne ir sasniegusi maksimālo novirzi uz dienvidiem. Aprīļa vidū zvaigzne sāka pārvietoties uz ziemeļiem un jūnija sākumā atradās tādā pašā attālumā no ekliptikas pola kā decembrī. Septembrī tā bija 20" uz ziemeļiem, salīdzinot ar jūnija stāvokli. Šajā laikā manāmas izmaiņas nenovēroja. Pēc tam sekoja pārvirze uz dienvidiem. Lai izteiktu kādu ticamu skaidrojumu, Bredlijs 1727. gada 19. augustā uzsāka atkārtotus novērojumus ar uzlabotu aparāturu, kuras precizitāte bija 0",5. Pēc nopietnas dažādu cēloņu analīzes Bredlijs nonāca pie vienīgā secinājuma: novērojamā zvaigžņu pārvietošanās saistīta ar Zemes kustību pa orbītu un gaismas izplatīšanās galīgu ātrumu. Šo parādību sauc par aberāciju. Nosaukums veidots no latīņu vārda *aberratio*, kas nozīmē – novirze.

“Es šo jautājumu aplūkoju šādi,” rakstīja Bredlijs. “Pieņemsim, ka CA ir gaismas stars, kas krīt perpendikulāri līnijai BD. Tad, ja acs atrodas miera stāvoklī punktā A, objektu novēros virzienā AC neatkarīgi no tā, vai gaisma izplatās ar galīgu ātrumu vai arī momentāni. Taču, ja acs kustas no B uz A, bet gaisma izplatās ar ātrumu, kas attiecas pret acs kustības ātrumu, kā CA attiecas pret BA, tad stāvoklis mainās. Gaismas daļiņa, kurai pateicoties objektu var novērot tajā momentā, kad acs savā kustībā nonāk punktā A, atrodas punktā C mirklī, kad acs šķērso punktu B. Savienojot punktus B un C, es pieņemu, ka līnija CB ir caurule (kas noliekta leņķī DBC) ar tādu diametru, kas izlaiž cauri tikai vienu gaismas daļiņu. Tad viegli saprast, ka gaismas daļiņai, kas atrodas punktā C, ar kuras palīdzību objektu uztvers acs, kad tā kustības dēļ nonāks punktā A, jāiziet cauri caurulei BC... un tā nenokļūs acī aiz caurules, ja pēdējā noliekta pret līniju BD kādā citā leņķī. Analogiski, ja acs kustas pretējā virzienā – no punkta D uz punktu A – ar tādu pašu ātrumu, tad caurulei jābūt noliekta leņķī BDC. Ja mēs pieņemtu, ka gaisma izplatās momentāni, tad leņķis starp objekta redzamo un patieso stāvokli būtu bezgalīgi mazs. Bet, ja gaisma izplatās laikā, tad no iepriekšējiem spriedumiem izriet, ka starp objekta redzamo un patieso stāvokli vienmēr būs atšķirība, ja vien acs nekustas tieši uz objektu vai no tā. Jebkurā gadījumā objekta redzamā un patiesā stāvokļa leņķu starpības

sinuss attieksies pret objekta novērošanas leņķa sinusu, kā acs kustības ātrums attiecas pret gaismas kustības ātrumu.” Ar objekta novērošanas leņķi Bredlijs domā leņķi, ko veido objekta novērošanas virziens ar acs kustības virzienu.

Un tālāk Bredlijs raksta: “Tāpēc es pieļauju, ka tas (leņķis DCB) vienāds 40'3" vai arī, kas ir tas pats, ka gaisma kustas un noiet attālumu no Saules līdz mums 8 minūtēs un 13 sekundēs. Daudzu manu novērojumu tuva sakritība mani pārliecināja, ka izmērītā maksimālā leņķa vērtība nevar atšķirties no patiesā vairāk nekā par sekundi. Tāpēc iespējams, ka laiks, ko patērē gaisma, izplatoties no Saules līdz mums, šo novērojumu dēļ ir noteikts ar precizitāti no 5 līdz 10 sekundēm; tā ir tāda precizitāte, kādu mēs nevaram cerēt iegūt, novērojot Jupitera pavadoņu aptumšošanos.”

Arī Bredlijs tāpat kā Rēmers nenoteica gaismas ātruma skaitlisko vērtību. Literatūrā bieži sastopamā vērtība 301 000 km/s (K. Frums un L. Esens) vai arī 284 000 km/s (S. Filonovičs), kā arī citi skaitļi iegūti vēlāk, pamatojoties uz Bredlija mērījumiem. Tagad zināms, ka gaisma no Saules līdz Zemei pārvietojas 8 minūtēs un 19 sekundēs. Tas liecina, ka Bredlijs pilnīgi pareizi novērtējis savu mērījumu precizitāti (~2%). Pēc aberācijas atklāšanas neviens vairs nešaubījās par to, ka gaismas izplatīšanās ātrums ir galīgs.

Bredlija un Moline's novērojumu sākotnējais nolūks bija pēc paralakses noteikt attālumu līdz zvaigznei Pūka γ . Bet to viņi nevarēja izdarīt. Kā mēs tagad zinām, Pūka γ atrodas 120 gaismas gadu attālumā, un tās paralakse ir 0",06. Lai to novērotu, mērījumu precizitātei bija jāpieaug par kārtu.

1729. gadā Bredliju uzaicināja lasīt lekcijas eksperimentālajā filozofijā (fizikā) Oksfordas universitātē. Pasniedzēja darbā Bredlijs nostrādāja līdz 1760. gadam. Bredlijam bija liela autoritāte. Pēc Haleja nāves Bredlijs kļuva par karalisko astronomu un Griničas observatorijas direktoru.

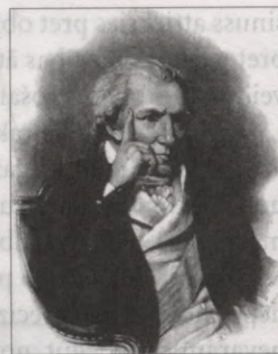
ASV pirmo teleskopu izveidoja vācu izcelsmes amerikāņu astronoms Pensilvānijas universitātes profesors Dāvids Ritenhauzs (1732 – 1796). Lai gan difrakcija bija pazīstama vairāk nekā simt gadu, praktisku lietojumu tā vēl neguva. Ritenhauzs 1786. gadā pirmais izgatavoja difrakcijas režģi no tievām stieplēm, kas uzvilktas rāmim. Arī šis režģis netika praktiski izmantots.

18. gadsimtā lēnām turpināja attīstīties fizikālā optika. Franču zinātnieks Pjērs Bugērs (1698 – 1758) 1729. gadā atklāja gaismas absorbcijas likumu vielā. Bugērs ir viens no fotometrijas pamatlicējiem. Šos pētījumus turpināja vācu zinātnieks Johans Lamberts (1728 – 1777). 1760. gadā iznāca viņa grāmata “Fotometrija jeb par gaismas, krāsu un ēnu mērīšanu”. Šajā darbā ir definēti galvenie fotometriskie lielumi: gaismas stiprums, spožums un apgaismojums, kā arī fotometriskās likumsakarības: apgaismojums, ko dod punkveida gaismas avots, ir apgriezti proporcionāls attāluma kvadrātam un tieši proporcionāls leņķa, ko veido gaismas stari un apgaismotā virsma, sinusam.



Johans Lamberts
(1728 – 1777)

Šajā laikā sāka attīstīties mācība par siltumu. Ja siltums ir līdzīgs šķidrumam, kā to uzskatīja siltumraža hipotēzes piekritēji, tad tam jāsauglabājas. Taču bieži vien tā nav. Pirmais to ievēroja angļu fiziķis Bendžamins Tompsons jeb grāfs Rumfords (1753 – 1814), novērojot 1798. gadā lielgabalu stobru urbšanu Minhenes kara mantu rūpniecā. Agrāk neviens nopietni nebija mēģinājis saprast, kāpēc lielgabalu stobri urbšanas procesā sasilst. Vienīgais skaidrojums varētu būt, ka metāla skaidās ietilpst mazāk siltumraža, nekā blīvā lējumā. Eksperiments to neapstiprināja. Vēl lielākas nepatīkšanas slēpās apstākļi, ka truli instrumenti radīja vairāk siltuma. Tas vedināja domāt, ka siltums ir jāsaista ar kustību. Taču siltums pāriet no viena ķermeņa uz otru ne tikai kontakta ceļā. Siltumraža hipotēze nevarēja arī izskaidrot siltuma pārnesi cauri vakuumam, piemēram, no Saules uz Zemi. Strīdus izraisīja jautājums, kur paliek siltumradis, ja siltums tiek izstarots.



Bendžamins Tompsons
(1753 – 1814)

Tika novērota ķermeņu absorbcijas spējas atkarība no krāsas. Amerikāņu zinātnieks Bendžamins Franklins (1706 – 1790) rakstīja: “Es paņēmu no šuvēja dažus kvadrāta formas atšķirīgas krāsas vadmalas gabalus. Starp tiem bija melns, tumši zils, gaiši zils, zaļš, purpura, sarkans, balts un dažādu citu krāsu un toņu auduma gabali. Kādā gaišā saulainā rītā es visus šos gabalus noliku uz sniega. Pēc dažām stundām melnais gabals, sasīlis vairāk par citiem, iegrima tik dziļi sniegā, ka Saules stari to vairs nesusniedza; tumši zilais iegrima gandrīz tik pat daudz, cik melnais. Gaiši zilais iegrima ievērojami mazāk; pārējo krāsu gabali iegrima par tik mazāk, par cik tie bija gaišāki. Baltais palika virspusē, t. i., tas nemaz neiegrima.” Franklins secināja, ka siltā laikā nav lietderīgi valkāt tumšas drēbes un vasarā jānēsā balta cepure.

Šveiciešu fiziķis Horaks Sosīrs 1770. gadā eksperimentēja ar “karsto kasti”. Tā sastāvēja no piecām stikla kastēm, kas tika ieliktas viena otrā ar dažu centimetru atstarpi starp stikliem. Novietojot šādu kasti Saules staros, ieguva 88 °C lielu temperatūru. Uzlabojot kastu dibenu izolāciju, ieguva 110 °C, kas ir augstāk par ūdens vārīšanās temperatūru.

Jau Arhimēds zināja, ka siltumu var fokusēt ar metāliskiem spoguļiem. Ar siltumstaru fokusēšanu nodarbojās daudzi 18. gadsimta dabas pētnieki. Šādi eksperimenti laikā no 1657. līdz 1667. gadam bija veikti jau Florences Zinātņu akadēmijā, kas dibināta drīz pēc Galileja nāves. Minētais eksperiments aprakstīts šādi: “Akadēmiķi novietoja ieliktu spoguļi ievērojamā attālumā no 500 mārciņu (apmēram 200 kg) smaga ledus blāķa un atklāja, ka spoguļa fokusā termometra rādījums ievērojami pazeminās.” No šejienes viņi secināja, ka arī aukstums līdzīgi siltumam izplatās starojuma ceļā. Patiesībā termometra rādījums pazeminājās tādēļ, ka tas vairāk enerģijas zaudēja, nekā ieguva.

1778. gadā zviedru ķīmiķis Karls Šēle (1742 – 1786) grāmatā “Ķīmiskis traktāts par gaismu un uguni” minēja jēdzienu “siltumstari”. Šēle norādīja, ka kopā ar siltumu, kurš paceļas virs uguns ar gaisu, ir arī siltums, kuru sajūtam, stāvot ar seju pret uguni. Siltumu aiztur stikls, bet gaismu tas neaiztur; šis fakts zinātniekus mulsināja. Varēja domāt, ka gaisma un siltums ir dažādas lietas.

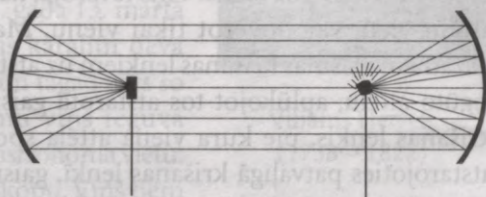
Johans Lamberts novietoja 20 pēdu (6,1 m) attālumā vienu pret otru divus ieliektus spoguļus. Kad viena spoguļa fokusā viņš novietoja kvēlojošas ogles, tad otra spoguļa fokusā aizdegās viegli uzliesmojoši priekšmeti. Savā sacerējumā "Pirometrija jeb uguns un siltuma mērīšana", kurš publicēts 1779. gadā pēc autora nāves, Lamberts rakstīja: "Uguns stari pakļaujas tādiem pašiem likumiem kā gaismas stari."

Šveiciešu fiziķis Marks Pikte (1752 – 1825) un H. Sosīrs veica līdzīgu eksperimentu: "Mēs ņēmām dzelzs lodi, kuras diametrs bija 2 collas, sakarsējām to, līdz tā izsila līdz centram, pēc tam ļāvām tai atdzist līdz tādai pakāpei, ka tā pārstāja spīdēt pat tumsā. Divi spoguļi bija novietoti viens pret otru 12 pēdu (apmēram 365 cm) attālumā, vienā fokusā mēs novietojām lodi, otrā fokusā – termometru. Temperatūra tūlīt sāka pieaugt un sešās minūtēs pacēlās par 10,5 grādiem, turpretī otrs termometrs, kurš bija novietots tādā pašā attālumā, uzrādīja paaugstināšanos tikai par 2 grādiem." 1790. gadā Pikte savus novērojumus aprakstīja darbā "Eksperimenti par uguni".

Šveiciešu fiziķis un filozofs Pjērs Prevo (1751 – 1839) 1791. gadā izstrādāja "uguns līdzsvara" teoriju. Pēc šīs Prevo teorijas sasilis ķermenis izstaro siltumstarus, kas izplatās pēc gaismas staru izplatīšanās likumiem. Katrs ķermenis izstaro siltumu un to absorbē no apkārtējās telpas. Siltuma pārnese notiek ar stariem no siltiem uz aukstiem ķermeņiem. Siltuma līdzsvara gadījumā ķermenis izstaro tikpat siltuma, cik absorbē, tā temperatūra nemainās.

18. un 19. gadsimta mijā pastiprinājās interese par elektrisko parādību izpēti. Krievu fiziķis un elektrotehniķis Vasilijs Petrovs (1761 – 1834) 1802. gadā izveidoja galvanisko bateriju, ar kuru varēja iegūt ap 1700 V lielu spriegumu. Ar šīs baterijas palīdzību ieguva lokizlādi. Petrovs novēroja un pētīja arī luminiscenci un noskaidroja atšķirību starp hemiluminiscenci, bioluminiscenci un fotoluminiscenci.

Neatkarīgi no Petrova angļu fiziķis un ķīmiķis Hemfrijs Dēvi (1778 – 1829) 1810. gadā, izmantojot lielu elektrisku bateriju, kas sastāvēja no 2000 galvaniskiem elementiem, demonstrēja elektrisko loku. Ceļojot pa Eiropu, 1814. gadā Dēvi ar asistentu Maiklu Faradeju (1791 – 1867) kādu laiku uzturējās Florencē. Šeit, izmantojot lielu lēcu, kas piederēja Toskānas hercogam, Dēvi fokusēja Saules starus uz dimanta kristālu, kurš platīna tīģeli bija ievietots traukā ar skābekli. Faradejs savā dienasgrāmatā rakstīja: "Šodien mēs izdarījām svarīgu eksperimentu, aizdedzinot dimantu, un tas, ko mēs novērojām, bija sevišķi interesants un skaists... Sers H. Dēvi pēkšņi ievēroja, ka dimants tiešām deg un, kad to aizvāca no lēcas fokusa, turpināja ātri sadegt. Mirdzošais dimants spīdēja tumši sarkanā gaismā, pārejot purpurā, un, ievietots tumsā,



Viena spoguļa fokusā novietoja kvēlojošas ogles, otra spoguļa fokusā aizdegās viegli uzliesmojoši priekšmeti



Hemfrijs Dēvi
(1778 – 1829)

dega vēl apmēram četras minūtes.” Dēvi ar šo eksperimentu pierādīja, ka dimants tiešām ir tīrs ogleklis.

1808. gadā Parīzes Zinātņu akadēmija izsludināja konkursu par labāko teoriju, kas izskaidrotu dubultlaušanu kristālos. Prēmiju par darbu “Gaismas staru dubultlaušanas teorija kristāliskās vielās” ieguva franču kara inženieris Etjēns Maluss (1775 – 1812). Malusa interese par dubultlaušanu radās, aplūkojot caur Islandes špata kristālu Saules atspīdumu Luksemburgas pils logos. Viņš ievēroja, ka dažkārt divu Saules attēlu vietā var novērot tikai vienu. Maluss konstatēja, ka dažādiem gaismas krišanas leņķiem uz atstarojošo virsmu divu iegūto attēlu, aplūkojot tos atstarotā gaismā caur špata kristālu, intensitāte mainās. Ir krišanas leņķis, pie kura viena attēla spožums var līdzināties nullei. Tas nozīmē, ka, atstarojoties patvaļīgā krišanas leņķī, gaisma daļēji polarizējas un ka noteiktā leņķī var iegūt pilnīgu polarizāciju. Tas atgādināja Heigensa eksperimentu ar diviem Islandes špata kristāliem. Izdarot eksperimentu ar ūdeni, Maluss novēroja, ka gaismai, atstarojoties no ūdens 52°45' leņķī, ir tādas pašas īpašības, kādas ir gaismai, šķērsojot Islandes špata kristālu. Maluss novēroja līdzīgu efektu arī gadījumos, kad gaisma atstarojās no citām vielām, taču krišanas leņķis izmainījās atkarībā no šo vielu laušanas koeficienta.

Saskaņā ar Ņūtona korpuskulāro teoriju Maluss pieņēma, ka Saules gaismā korpuskulas ir orientētas haotiski. Ejot cauri kristālam vai no tā atstarojoties, tās orientējas noteiktā veidā. Gaismas staru, kurā korpuskulas ir orientētas noteiktā veidā, Maluss nosauca par polarizētu. Viņš arī atklāja polarizētas gaismas intensitātes izmaiņas likumu, ejot cauri analizatoram, – Malusa likumu:

$$I_{\varphi} = I_0 \cos^2 \varphi,$$

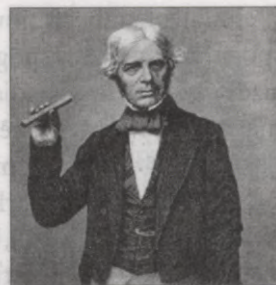
φ – leņķis starp polarizatora un analizatora galveno šķēlumu.

1811. gadā D. Arago novēroja polarizācijas plaknes griešanu, t. i., dabisko optisko aktivitāti kvarca plāksnītē, kas izgriezta perpendikulāri optiskajai asij. 1815. gadā neatkarīgi no Arago franču fiziķis Žans Bio (1774 – 1862) šo parādību atklāja cukura šķīdumā, terpentīnā u. c. šķīdumos. 19. gadsimta beigās jau apmēram 700 vielām bija konstatēta dabiskā optiskā aktivitāte.

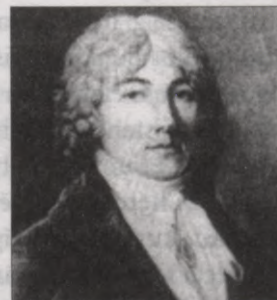
1815. gadā skotu fiziķis Deivids Brūsters (1781 – 1868) atklāja sakarību starp dielektriķa laušanas koeficienta vērtību n un krišanas leņķi i , pie kura atstarotā gaisma ir pilnīgi polarizēta (Brūstera likums):

$$\operatorname{tgi} = n.$$

1816. gadā Žans Bio un vācu fiziķis Tomass Zēbeks (1770 – 1831) novēroja pleohroismu, kas ir saistīts ar absorbcijas anizotropiju atkarībā no gaismas viļņa garuma un polarizācijas. Šo parādību izmanto polarizētas gaismas iegūšanai.



Maikls Faradejs
(1791 – 1867)



Žans Bio
(1774 – 1826)

2. 2. Heršelu dzimtas ieguldījums zinātnē

1800. gadā vācu izcelsmes angļu astronoms un optiķis Viljams Heršels (1738 – 1822) Saules spektrā, ko ieguva ar prizmu, atklāja infrasarkanos starus. Viņš novēroja temperatūras celšanos, ko izraisa šie stari aiz sarkanās gaismas spektra robežas. Plašākai sabiedrībai Heršels pazīstams kā astronoms. Heršels savu pirmo reflektoru izgatavoja pēc Ņūtona shēmas. Spoguļa diametrs bija 20 cm, fokusa attālums – 2 m. Ar šo teleskopu Heršels uzsāka sistemātiskus novērojumus un 1781. gada 13. martā atklāja jaunu planētu, kurai par godu Anglijas karalim deva Džordža vārdu. Taču šis nosaukums neieviesās un tagad mēs šo planētu saucam par Urānu. Par šo atklājumu viņš ieguva Londonas Karaliskās biedrības medaļu un galma astronoma vietu.

Heršels ir izgatavojis vairākus desmitus teleskopu. Viņš tiem veltīja lielu uzmanību. D. Arago rakstīja: “Kad Heršels sāka pulēt spoguļi teleskopam, viņš nepārtraukti strādāja desmit, divpadsmit, četrpadsmit stundu. Viņš neizgāja no savas darbnīcas pat pusdienot. Lai atjaunotu savus spēkus, ēdienu pieņēma no savas māsas rokām. Nekādu apstākļu dēļ Heršels neatstāja savu darbu; atstāt darbu – nozīmēja to sabojāt.” Heršela izgatavotie teleskopi bija labas kvalitātes. Tas arī veicināja Urāna atklāšanu.

Laikā no 1785. līdz 1789. gadam Heršels uzbūvēja savu lielāko teleskopu – reflektoru. 1785. gadā viņš noslīpēja lielāko spoguļi, kura diametrs bija 122 cm. No tā veidoja milzīgu 12 m garu teleskopu. Šis bija tālaika lielākais reflektors. Tam sekoja virkne atklājumu. Viņš izstrādāja zvaigžņu skaitīšanas metodiku, atklāja Saules sistēmas kustību telpā un pētīja dubultzvaigznes. 1787. gadā Heršels atklāja divus Urāna pavadoņus, bet 1789. gadā – divus Saturna pavadoņus. Heršels veica teleskopu uzlabošanu un 1805. gadā izmantoja teleskopa apertūras centrālās daļas ekranēšanu, lai palielinātu izšķirtspēju un izšķirtu tuvas zvaigznes. Lai samazinātu gaismas zudumus, Heršels vienkāršoja Ņūtona shēmu, nedaudz noliecot galveno spoguļi, tādējādi nevajadzēja mazo spoguļi. Vienu no Heršela teleskopiem, kura objektīva diametrs bija 16,7 cm un garums – 7 pēdas, 1806. gadā iegādājās Tartu astronomiskā observatorija. Kopumā Heršels uzbūvēja ap 200 septiņu pēdu teleskopus, 150 desmit pēdu teleskopus un 100 divdesmit pēdu teleskopus.

Viljams Heršels dzimis mūziķa ģimenē un jaunībā arī pats muzicējis. Par pievēršanos dabas zinātnēm stāsta pats Heršels. Iesākās ar to, ka Heršels nopirka Fergusona “Astronomiju”. Heršels rakstīja: “Kad es izlasīju par daudzajiem brīnišķīgajiem atklājumiem, kas veikti ar teleskopu, es biju sajūsmināts un par katru cenu gribēju ieraudzīt ar savām acīm debesis un planētas ar vienu no šiem instrumentiem.” Iegādājies iekārtu spoguļu slīpēšanai, Heršels ar māsas Karolīnas (1750 – 1848) palīdzību sāka izgatavot teleskopa spoguļus. Laikā no 1773. līdz 1782. gadam Heršeli bija nodarbināti, lai no profesionāliem mūziķiem pārtaptu par astronomiem.



Viljams Heršels
(1738 – 1822)



Karolīna Heršela
(1750 – 1848)

Kad Heršels sasniedza 43 gadu vecumu, Džordžs III viņam piešķīra galma astronoma statusu, un viņš pārcēlās uz Vindzoru. 8 mēnešus pēc ievēlēšanas Karaliskajā biedrībā, Džordžs III noteica Heršelam 200 sterliņu mārciņu lielu algu gadā. Par savu darbu ne tikai Viljams, bet arī Karolīna izpelnījās Anglijas un Eiropas astronomu atzinību. Karolīna patstāvīgi bija atklājusi vairākas komētas, Viljams uzsācis sistemātisku dubultzvaigžņu pētīšanu.

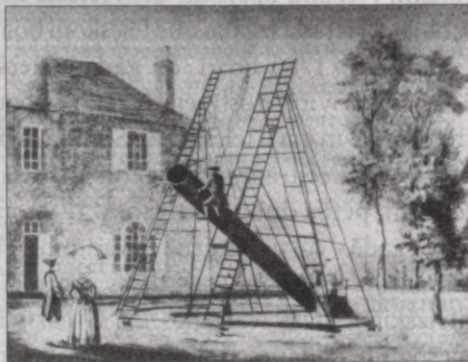
V. Heršels bija pirmais, kas atklāja jaunu Saules sistēmas planētu. Vēlāk Heršels rakstīja: "Ir veidojies uzskats, ka šo zvaigzni manā redzeslaukā ieveda laimīgs gadījums, taču tā pieņemt ir klaja kļūda. Tiešām, es secīgi aplūkoju katru zvaigzni, ne tikai tāda, bet gan arī daudz mazāka lieluma, tāpēc tajā naktī pienāca tās kārtā tikt atklātai. Es pakāpeniski iekaroju visa pastāvošā Radītāja Lielo darbu un pēdīgi nokļuvu līdz lappusei, kas saturēja septīto planētu. Ja tajā vakarā man traucētu kāda cita darišana, es to atklātu nākamā vakarā, jo mans teleskops bija tik labs, ka jau ar pirmo skatu es atšķirtu planētas disku."

Patiesības labā gan jāsaka, ka Heršels atklāto spīdekli sākumā uzskatīja par komētu. Astes trūkumu varēja izskaidrot ar to, ka objekts atrodas tālu no Saules. Franču astronoma Žana Saronā (1730 – 1794) aprēķini liecināja, ka spīdekļa orbītas perihēlijs atrodas daudz tālāk, t. i., 12 astronomiskās vienības no Saules, nekā sākumā tika pieņemts. Komētām tā nemēdz būt.

1781. gada vasarā bija uzkrāts pietiekami daudz novērojumu, lai aprēķinātu orbītas parametrus. Šos darbietilpīgos aprēķinus veica Pēterburgas astronoms Andrejs Lekselis (1740 – 1784). Viņš konstatēja, ka "klīstošā zvaigznīte" pārvietojas pa gandrīz riņķveida orbītu 19 reižu tālāk no Saules nekā Zeme. Tās apriņķošanas periods izrādījās aptuveni 84 gadus ilgs. Aprēķini viennozīmīgi liecināja, ka Viljams Heršels atklājis nevis komētu, bet gan jaunu Saules sistēmas planētu. Turpmāk tā sagādāja pētniekiem daudz pārdzīvojumu.

17. gadsimta beigu periodā astronomisko novērojumu precizitāte bija stipri palielinājusies. Flemstīds debess spīdekļu stāvokļu novērojumos sāka regulāri izmantot pulksteni un teleskopu ar diega krustu redzes laukā. Tas Flemstīdam ļāva noteikt zvaigžņu un planētu stāvokļus ar precizitāti līdz 10". Labākie Tiho Brahes novērojumi bija ar 2' precizitāti. Sava laika labākais novērotājs Džeimss Bredlijs novērojumu precizitāti uzlaboja līdz 4"–6". 18. gadsimta beigās un 19. gadsimta sākumā vidējā novērojumu kļūda nepārsniedza 3".

Debess mehānika, balstoties uz Izaka Ņūtona atklāto gravitācijas likumu, uzplauka 18. gadsimtā. Komplicētās debess mehānikas uzdevumu risināšanas metodes izstrādāja tā laika



Heršela 20 pēdu teleskops – reflektors, kuram blakus viņš pavadīja naktis. Novērotājs sēdēja jāteniski teleskopa augšgalā, bet lejā stāvošais cilvēks viņam palīdzēja nostādīt teleskopu un pierakstīt novērojumu rezultātus. Visa sistēma varēja griezties pa riņķveida sliežu ceļu

ievērojamākie zinātnieki: Leonards Eilers, Aleksis Klero, Žans Dalambērs, Žozefs Lagranžs, Pjērs Laplass un Žans Delambrs. Laikā no 1746. gada līdz 1772. gadam Eilers, Klero un Dalambērs publicēja virkni darbu par Mēness kustības teoriju, 1754. – 1756. gadā Dalambērs publicēja darbu par Jupitera un Saturna savstarpējām perturbācijām, bet 1773. – 1784. gadā Lagranžs un Laplass pētīja visu tajā laikā zināmo planētu savstarpējās perturbācijas.

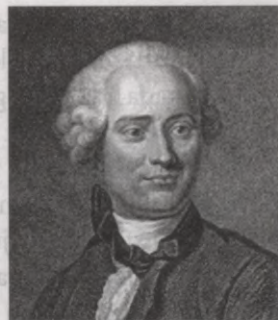
Aleksis Klods Klero (1713 – 1765), kurš plašākā sabiedrībā mazāk pazīstams, ir viens no debess mehānikas pamatlicējiem. 1759. gadā, veicot Haleja komētas trajektorijas aprēķinus, viņš ievēroja Jupitera un Saturna iespaidu uz komētu, tā iegūdam savam laikam lielu aprēķina precizitāti un pasaules slavu.

Netradicionāls bija Žana Dalambēra (1717 – 1783) dzīves ceļš. 1717. gadā lietainā naktī starp 16. un 17. novembri kāds Parīzes policists uz Žana Lerona baznīcas kāpnēm atrada pamestu nesen dzimušu bērnu. Bērns bija ļoti vārgs, un policijas komisārs saprata, ka, nogādājot to patversmē, pakļautu bērna dzīvību briesmām. Bērnam sameklēja barotāju. Tā tika saglabāta nākamā ievērojamā zinātnieka Žana Lerona Dalambēra dzīvība. Kad Žans nāca pasaulē, viņa tēvs ģenerālis Detušs bija ārzemēs, bet māte rakstniece Tansena nolēma atbrīvoties no ārļaulībā dzimušā bērna.

Tāču Žanam laimējās. Viņš nokļuva stiklinieka Ruso ģimenē, kas gādāja par zēnu. Atšķirībā no mātes Žana tēvs par dēlu ļoti rūpējās. Žans guva ļoti labu izglītību. Viņš varēja lasīt Arhimēda, Ptolemaja u. c. seno autoru oriģināldarbus, bija apguvis retoriku, bija teicams literāts, veiksmīgi nodarbojās ar fiziku un matemātiku. Par Dalambēru mēdza sacīt, ka viņš ir labākais rakstnieks starp matemātiķiem un labākais matemātiķis starp rakstniekiem. Dalambērs ieguva jurista specialitāti, bet nespēja strādāt par advokātu un aizstāvēt likumpārkāpējus.

Kad Dalambēram bija 23 gadi, viņu ievēlēja par Francijas Zinātņu akadēmijas locekli. Dalambērs veicis pētījumus daudzās nozarēs. Viņš ir formulējis vienu no dinamikas pamatprincipiem (Dalambēra princips), risinājis otrās kārtas parciālo diferenciālvienādojumu stīgas svārstībām, pirmais lietojis kompleksā mainīgā funkciju un licis pamatus planētu perturbāciju teorijai. Sākot ar 1751. gadu, Dalambērs kopā ar D. Didro veidoja un izdeva "Zinātņu, mākslu un amatu enciklopēdiju". Līdz 1780. gadam iznāca 35 enciklopēdijas sējumi. Enciklopēdijas ievadrakstā Dalambērs formulēja fizikālo pētījumu uzdevumus. "Eksperimentālā fizika ir balstīta uz diviem principiem, kurus nedrīkst jaukt: uz eksperimentu un uz novērojumu. Novērojumi, kas ir mazāk izpētīti un nav tik precīzi, aprobežojas ar faktiem, kas risinās mūsu acu priekšā. Mūsu uzdevums ir tos "labi ieraudzīt" un attiecināt uz dažāda veida parādībām, kuras mums piegādā daba. Turpretī ar eksperimentu jācenšas dziļāk izprast dabu, izvilināt no dabas to, ko tā no mums slēpj, un ar dažādu objektu kombinācijām radīt jaunas parādības turpmākai pētīšanai."

Dalambērs savā dzīvē paveica ļoti daudz. Ruso ģimene savu audzēkni sauca par filozofu un paskaidroja, ka "filozofs ir tāds īpatnējs cilvēks, kas dzīvē sev visu liedz, strādā kā



Žans Lerons Dalambērs
(1717 – 1783)

vērsis no rīta līdz vakaram, un tas viss tikai tāpēc, lai par viņu runātu pēc nāves". Šajā ziņā audzinātāji kļūdījās. Dalambērs nedomāja par slavu. Darbs bija viņa dzīve un mīlestība.

Jaunās planētas novirze no aprēķinātās orbītas atklājās jau mēneša laikā un sasniedza 20". To varētu izskaidrot ar orbītas eliptisko formu. 1783. gadā Pjērs Laplass un Pjērs Mešēns (1744 – 1804), balstoties uz pēdējo divu gadu pētījumiem, aprēķināja precīzētu eliptisku orbītu. Taču arī šie aprēķini izrādījās stipri tuvināti. Vācu astronoms Johans Bode (1747 – 1826) iedomājās, ka šo untumaino planētu kāds no astronomiem varēja novērot jau agrāk, noturot to par zvaigzni. Bode konstatēja, ka 1756. gada 25. septembrī vācu astronoms Tobiasss Maijers (1723 – 1762) novērojis zvaigzni, kas vēlāk nav minēta. Aprēķini rādīja, ka tas varētu būt Heršela atklātais pavadoņs. Drīz atklājās arī 1690. gada 23. decembrī izdarītais Flemstīda novērojums, kuru bija iespējams izmantot. Laika intervāls no 1690. gada līdz 1784. gadam aptvēra jau vairāk par vienu planētas apriņķošanas periodu ap Sauli un varēja derēt pietiekami precīzām orbītas aprēķinām.

Taču jau 1788. gadā planēta ievērojami aizsteidzās priekšā, salīdzinot ar aprēķināto stāvokli. 1790. gadā uz neilgu laiku stāvokli glāba Delambers, kurš izstrādāja jaunatklātās planētas kustības teoriju, ievērojot Saturna un Jupitera izraisītās perturbācijas. Laikā no 1810. līdz 1820. gadam veiktie novērojumi neapstiprināja Delambra teorijas secinājumus, un Urāna problēma atkal kļuva aktuāla. Bet par to nedaudz vēlāk.

1802. gadā Francija un Anglija parakstīja miera līgumu, un Heršels ar ģimeni apmeklēja Parīzi, lai iepazītos ar franču astronomiem. Ievērojamākais no viņiem Pjērs Simons Laplass (1749 – 1827) pirms tam bija rakstījis Heršelam: "Es ar lielāko gandarījumu uzzināju, ka jūs gatavojaties tuvākajā laikā pabūt Parīzē. Es ar sajūsmu domāju par iespēju personīgi iepazīties ar jums un ar visu sirsnību izteikt jums to goddevīgo cieņu, kādu man modina jūsu brīnišķie atklājumi."

No V. Heršela dienasgrāmatas izriet visai interesanti fakti, kaut vai iepazīšanās ar Laplasa kundzi. Tā notikusi, Laplasa kundzei guļot gultā, kas pie šāda stila nepieradušiem šķiet visai dīvaini.

Napoleons tajā laikā vēl bija konsuls un esot mīlējis runāt ar zinātniekiem. Viņš licis iekšlietu ministram izkārtot audienci Heršelam, Laplasam un grāfam Rumfordam. Par šo gadījumu Heršels raksta: "Svētdien, 8. augustā, ap pulksten septiņiem ministrs aizveda Laplasa kungu, grāfu Rumfordu un mani uz Malmezoni, pirmā konsula pili, lai iepazīstinātu ar viņu. Pēc ilgas pastaigas pa dārzu ar Bonaparta kundzi mēs satikām pirmo konsulu, kurš norādīja strādniekiem, kā jāpievada ūdens augu aplaistīšanai. Ministrs mani un grāfu Rumfordu iepazīstināja ar viņu. Pirmais konsuls vērsās pie manis ar laipniem jautājumiem par dažādām astronomiskām problēmām, bet vēlāk pēc diezgan ilgām pārrunām vērsās pie grāfa Rumforda..."

Pārrunas beidzās disputā ar Laplasu par zvaigžņotās telpas izplatību: "Laplass vēlējās izskaidrot, kāda dabisku cēloņu ķēdīte varēja novest pie šīs brīnišķīgās sistēmas izveides un saglabāšanās. Taču šeit pirmais konsuls sāka iebilst. Par to varētu runāt daudz, bet, apvienojot abu argumentus, mēs nonākam pie atbildes – Daba un dabas Dievs."

Tēva uzsāktos pētījumus turpināja viņa dēls Džons Heršels (1792 – 1871). Viņš nodarbojās ar ķīmiju, astronomiju un optiku. Taču sākumā Džona Heršela aizraušanās

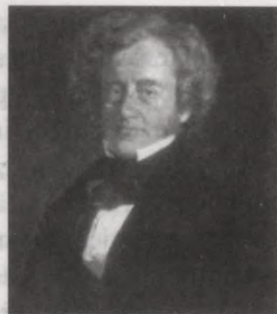
ar astronomiju nebija izteikta. Kad Džons beidza koledžu, viņu vairāk interesēja matemātika, bet viņš bija izlēmis kļūt par juristu. Vecākais Heršels savu dēlu labāk gribēja redzēt garīdznieka kārtā. Džons iebilda, ka baznīca balstās uz pašapmānu un tas viņu neapmierina. Uz to vecākais Heršels atbildēja ar šādu jurisprudences raksturojumu: “Tās ceļš ir likumots, neīsts un nedrošs. Tas ir tikpat izmēģināts, taču cik daudz cilvēkiem uz tā nav izdevies nodrošināt sev godīgu maizes kumosu? Šis ceļš tev neder, turklāt tu jau esi nokavējis stāties uz tā, jo esi nodarbojies ar augstākām lietām.” Un, izmantojot dēla argumentus, piebilst, ka juristi pusi sava laika ir spiesti nodarboties ar pašapmānu, jo “katru reizi, kad tiek formulēts tiesas lēmums, noteikti izrādās, ka vienas puses advokāti aizstāvējuši netaisnu lietu vai nu neveiksmes dēļ, vai apmānot sevi, vai arī vēl sliktāku stimulu dēļ.”

Kad pēc diviem gadiem 1816. gadā Džons apmeklēja tēvu, Viljamam bija 78 gadi, un viņi ar Karolinu bija pārtraukuši astronomiskos novērojumus. Taču bija vēl iecerēts milzīgs darbs: pabeigt miglāju un dubultzvaigžņu katalogu. Pie šā darba ķērās Džons Heršels. Pēc 6 gadiem Viljams mira. Šajā sakarā franču matemātiķis Žans Furjē (1768 – 1830) sacīja: “Lielu cilvēku iespaids iestiepjas tālu nākotnē, un viņu nāves dienā vēl nevar pilnīgi novērtēt viņu darba augļus. Debess ainu, ko radījis Viljams Heršels, nākamās paaudzes salīdzinās ar jauniem novērojumiem; cilvēces priekšstati par debesīm var savās detaļās mainīties, taču arī tajos tālajos laikos atmiņas par Heršelu vēl dzīvos. Viņa vārds, kas uzticēts pateicīgai zinātnei, mūžos tiks pasargāts no aizmirstības.”

Džons turpmākos 20 gadus nodarbojās ar optiku, fiziku un astronomiju. 1833. gadā Džons Heršels ar sievu, trīs bērniem un sava tēva 20 pēdu teleskopu pārcēlās uz Labās Cerības ragu, kur 4 gadu laikā (1834 – 1838) pētīja dienviņu puslodes zvaigznājus, veicot sistemātiskus novērojumus un atklājot vairāk nekā 3000 dubultzvaigžņu. Ceļojumā ar “Biglu” Heršelu apmeklēja Čārlzs Darvins, uz kuru lielu iespaidu atstāja Heršela pieticīgais dzīvesveids.

Pēc atgriešanās Anglijā Heršels gatavoja savu novērojumu publikācijas. Uzzinājis, ka nogurdinošo dagerotipijas procedūru var aizstāt ar citu metodi, izmantojot sudraba sāļus, Heršels faktiski atkātoja to situāciju, kāda bija veidojusies ar Galileju un teleskopu. Heršels praktiski otrreiz atklāja fotogrāfiju, izmantojot savas zināšanas optikā un ķīmijā. Heršels neatkarīgi no Talbota 1839. gadā atklāja fotografēšanu uz gaismas jutīga papīra. Dž. Heršels ieteica terminus “negatīvs” un “pozitīvs”, kā arī atklāja nātrija hiposulfīta fiksējošo iedarbību. Turklāt viņš ieviesa virkni uzlabojumu. Heršels ieguva pirmo fotogrāfisko negatīvu uz stikla, kur tika iemūžināts tēva teleskops.

1847. gadā Džons Heršels beidza savu novērojumu publicēšanu un turpmāko dzīvi veltīja astronomijas popularizēšanai. Viņa grāmata, kas bija pazīstama ar nosaukumu



Džons Heršels
(1792 – 1871)



Žans Batists Furjē
(1768 – 1830)

“Heršela astronomija”, laikā no 1849. līdz 1873. gadam piedzīvoja 12 izdevumus. Par Džonu Heršelu mēdza sacīt: “Viņš bagātināja visu, kam vien pieskārās.”

Uz Labās Ceribas raga 1834. – 1838. gadā Dž. Heršels veica vairākus mēģinājumus ar Sosīra “karsto kasti”. Viņš rakstīja: “Ja siltumu, ko saņemam no Saules, norobežojam un pasargājam no zudumiem, paātrinot tādā veidā tā uzkrāšanos, tad varam iegūt ļoti augstu temperatūru. Tādā kārtā, ņemot nelielu sarkankoka kasti, kas nomelnota no iekšienes un pārklāta ar attiecīga izmēra logu stiklu, un izliekot to vienkārši perpendikulāri Saules staru virzienam, 1837. gada 23. novembrī termometrs šīs kastes iekšienē rādīja 65 °C, 24. novembrī – 69 °C, 25. novembrī – 67 °C utt. Kad kasti apbēra ar smiltīm, lai pasargātu to no saskares ar auksto gaisu, temperatūra 1837. gada 3. decembrī pacēlās līdz 81 °C. Kad tā pati kaste ar tajā novietotu termometru tika novietota zem ārēja koka rāmja, labi apbērtā ar smiltīm no sāniem un aizsargāta ar loga stikla plāksni, tad 1837. gada 3. decembrī plkst. 1.30 dienā tika sasniegta 97 °C augsta temperatūra, plkst. 1.50 – 103 °C un plkst. 2.44 – 103,5 °C, pūšot spirtam vējam. 5. decembrī, atkārtojot šo eksperimentu, tika novērotas šādas temperatūras: plkst. 10.19 – 107 °C, plkst. 12.29 – 110 °C, plkst. 1.15 – 115 °C, plkst. 1.57 – 120 °C un plkst. 2.57 – 116 °C. Tā kā šīs temperatūras stipri pārsniedza ūdens vārišanās temperatūru, tika izdarīti vairāki eksperimenti: olas, augļi, gaļa tādā veidā tika pakļauti Saules staru iedarbībai un pēc noteikta laika sprīža izrādījās lieliski sagatavoti: olas bija cietas, ar drupanu dzeltenumu. Vienreiz tika izgatavota pilnīgi lietojama sutināta gaļa ar saknēm, kuru klātesošie apēda ar baudu.”

Heršela eksperimenta izskaidrojums ir vienkāršs. Stikls samērā labi laiž cauri infra-sarkano (IS) staru īsviļņus, bet aiztur garos viļņus. Saules spektrā maksimālā radiācija ir redzamajā un tuvajā IS spektra daļā. Tā iet brīvi cauri stiklam un absorbējas kastē. Kastes iekšējās daļas sasilst un kļūst par radiācijas avotu, kura starojuma maksimums ir apmēram 10 μm garu viļņu rajonā. Šo starojumu stikls no kastes uz ārpusi neizlaiž. Šo parādību sauc par siltumnīcas efektu. Līdzīgi darbojas Zemes atmosfēra, traucējot nakts stundās dienā uzkrātās enerģijas aizplūšanu kosmiskajā telpā.

2. 3. Puasons pierāda to, ko nevēlas. Frenela optisko pētījumu triumfs

Iepriekš aplūkotās polarizācijas parādības varēja gluži labi skaidrot no korpuskulu hipotēzes viedokļa. Taču 19. gadsimta sākumā tika izdarīti svarīgākie atklājumi, ko nevarēja izskaidrot korpuskulu ideja un kas veicināja viļņu teorijas atzīšanu. Lieli nopelni šeit bija angļu fiziķim Tomasam Jungam (1773 – 1829), kurš studēja medicīnu. 1795. gadā Jungs ieguva medicīnas doktora grādu, taču aizrāvās ar optiku. Divus gadus pirms tam viņš publicēja darbu fizioloģiskajā optikā “Redzes procesa novērojumi”, kurā izklāstīja acs akomodācijas teoriju. Jungs attīstīja arī krāsu redzes teoriju, pieņemot, ka acs tiklīdz ir trīs veidu nervu šūnas, kas ir jutīgas pret trim pamatkrāsām. 1800. gadā viņš formulēja viļņu superpozīcijas ideju un izskaidroja



Tomass Jungs
(1773 – 1829)

gaismas interferenci. Arī jēdzienu “interference” fizikā ieviesa Jungs. Gaismas viļņu teorija, kuru 1801. gadā formulēja Jungs, balstījās uz ētera hipotēzi. Ja ķermenis izstaro gaismu, tad ēterā ierosinās svārstības. Dažādu krāsu sajūta atkarīga no svārstību biežuma, ko gaisma ierosina tiklencē. Jungs izmērija gaismas viļņu garumus rajonā no 0,42 līdz 0,70 μm . Viņš izskaidroja Ņūtona grezenu veidošanos un plāno kārtiņu krāsu, bet 1817. gadā izvirzīja ideju par gaismas viļņu šķērsvārstību dabu. Tomass Jungs izteica arī domu, ka gaisma un siltumstari atšķiras tikai ar viļņu garumu. Taču Junga idejas bija attīstītas hipotēzes līmenī un plašu atzinību neieguva. Izšķiroša loma viļņu optikas plašā atzīšanā bija franču zinātniekam Ogistēnam Frenelam (1788 – 1827). Vācijā difrakcijas parādības šajā laika posmā pētīja Jozefs Fraunhofers (1787 – 1826).

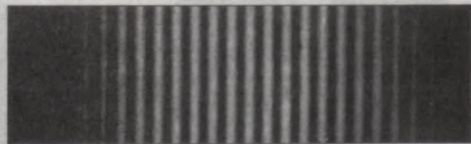
Zinātnes vēsturnieks E. Klauss Jungu raksturo šādi: “Viss viņā ir pārsteidzošs, gan reta daudzpusība, gan zinātnisko meklējumu plašums un apdāvinātības daudzšķautņainība, apvienota ar milzīgu fiziķa intuīciju un intelekta mirdzumu, kas papildināta ar enciklopēdiskām zināšanām, un viņa neaptveramās darba spējas, viņa dzīves mērķtiecība, kas atdota dabas noslēpumu atklāšanai. Pazīstams ārsts un brīnišķīgs fiziķis, astronoms un mehāniķis, metalurģs un ēģiptologs, okeanologs un botāniķis, filologs un politologs, nopietns mūzikas pazinējs un izveicīgs mūziķis, kurš spēlēja gandrīz vai ar visiem tālaika instrumentiem; teicams gleznotājs un pat... izcils vingrotājs – lūk, kas bija Tomass Jungs.” Par Jungu rakstīti: “Jungs bija gandrīz ar tādām pašām universālām zināšanām kā Leonardo da Vinči.” Viņu uzskata par harmoniski attīstītas personības piemēru.

Tomass Jungs bija vecākais no zīda tirgotāja desmit bērniem. Viņš iemācījās lasīt no Bībeles divu gadu vecumā, četru gadu vecumā jau lasīja nopietnas grāmatas, bet, sasniedzis 14 gadu vecumu, apguva diferenciālrēķinus un zināja daudzas valodas, starp tām franču, itāļu, grieķu, latīņu, senebreju, arābu un persiešu.

Uzzinājis par Junga spējām, kāds no vecākās paaudzes ierēdņiem Deivids Berkli vēlējās uzaicināt viņu biedros savam mazdēlam Hadsonam Garni, kas bija pusotra gada jaunāks par Jungu. Berkli, lai pārliecinātos par Junga rokrakstu, lūdza pārrakstīt dažas frāzes no grāmatas. Domājams, aizvainots par to, Jungs lūdza atļauju uz brīdi aiziet. Kad Berkli jau sāka zaudēt pacietību, Jungs atgriezās. Norādītā frāze bija uzrakstīta kaligrāfiskā rokrakstā deviņās valodās.

Junga spējas raksturo arī šāda epizode. Reiz, nokļūvis Londonā, Jungs grāmatu tirgotavā paņēmis rokās kādu retu grāmatu un iegrimis lasīšanā. Tirgotavas īpašnieks, brīdi vērojies ne pēc pilsētas stila ģērbto zēnu, sacījis: “Lūk, zēn, ja tu man pārtulkosi kaut lappusi, grāmata būs tava.” Jungs to izdarījis ļoti veikli un kļuvis par vērtīgas grāmatas īpašnieku.

Jungs savu popularitāti galvenokārt ieguva ar viļņu procesa svarīgākās īpašības – interferences – pētījumiem. Viņš realizēja šādu eksperimentu. Pietiekami tālu no gaismas avota novietoja necaurspīdīgu ekrānu ar diviem maziem caurumiņiem, kas atradās tuvu viens otram. Izejot cauri šiem caurumiņiem, gaisma nonāca uz otra ekrāna, kur veidoja tumšākas un gaišākas joslas. Ja vienu no



Interferences aina no divām spraugām

caurumiņiem nosedza, tad ekrāna apgaismojums kļuva vienmērīgs. Jungs saprata, ka šis eksperiments ir izšķirošs gaismas viļņu teorijas pierādījumam. Ekrāna vietās, kur viļņi nonāk fāzēs, to iedarbība summējas un pastiprina apgaismojumu. Turpretī vietās, kur viļņi nonāk pretfāzēs, tie viens otru kompensē un šeit veidojas tumšā josla.

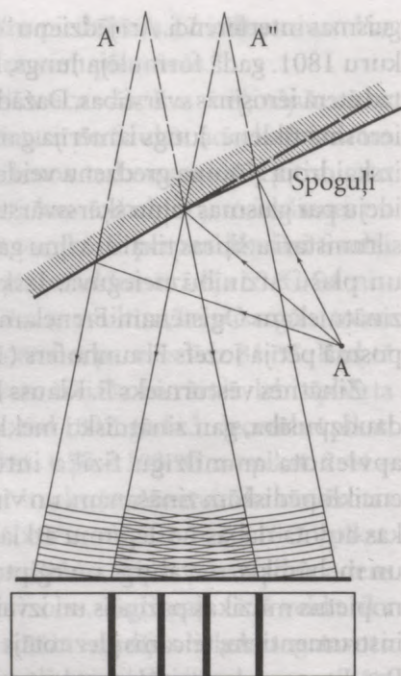
Kā Jungs nonāca līdz interferences idejai, precīzi nav zināms. Tās pamatā varētu būt divi fakti. Pirmais bija skaņas sitienu vērojumi, kas izpaužas periodiskā skaņas pastiprināšanās un vājināšanās. Otrs varētu būt ideja, kas izteikta Ņūtona grāmatā "Dabas filozofijas matemātiskie principi", ka anomāli lielos paisumus, ko Halejs novērojis Filipīnās, varētu izskaidrot ar viļņu pārklāšanos. Pētot akustikas parādības un saskatot analogiju starp skaņu un gaismu, Jungs nonāca pie pārliecības par gaismas viļņu teorijas patiesīgumu. Grūtības, kuras viņam nācās pārvarēt, galvenokārt bija saistītas ar ētera esamību, kas tajā laikā tika nesaraucami saistīta ar gaismas viļņu hipotēzi.

Jungs rakstīja: "Iedomājieties rindu vienādu viļņu, kas pārvietojas pa ezera virsmu... Tālāk iedomājieties, ka kāda analogiska cēloņa dēļ ierosināta cita tāda paša lieluma viļņu sērija, kas vienlaikus ar pirmo viļņu sistēmu pārvietojas ar tādu pašu ātrumu. Neviena no šīm sistēmām neizjauks otru, bet to darbība summēsies, ja vienas viļņu sistēmas virsotnes sakrītīs ar otras sistēmas virsotnēm; bet, ja vienas viļņu sistēmas virsotnes izvietosies otras sistēmas ieplaku vietās, tad tie precīzi aizpildīs šīs ieplakas, un ūdens virsma paliks līdzena. Tā, lūk, es pieļauju, ka līdzīga parādība novērojama, kad sajaucas divas gaismas porcijas. Šo pārklāšanos es nosaucu par vispārējo gaismas interferences likumu."

Un tālāk Jungs raksta: "Lai divu gaismas plūsmu iedarbība varētu tādā veidā summēties, nepieciešams, lai tās būtu iegūtas no viena gaismas avota un lai tās sasniegtu vienu punktu pa dažādiem ceļiem pēc virziena, kas nedaudz atšķiras viens no otra. Šo ceļu atšķirību var iegūt ar difrakcijas, atstarošanās, laušanas vai ar šo parādību dažādu kombināciju starpniecību."

Šo ģeniālo domu Jungs pierādīja ar savu eksperimentu, ko tagad sauc par interferenci Junga dubultspraugā. Junga izvirzītie skaidrojumi bija tik pārliecinoši, ka viņam šķita, ka viņš ir neapgāžami pierādījis gaismas viļņu dabu. Taču diemžēl pēc profesijas Jungs nebija fiziķis, bet gan mediķis, un viņa darbu izklāsts nebija bez vainas. To izmantoja viņa pretinieki, norādot uz dažiem trūkumiem, kurus Jungs nevarēja atspēkot.

18. un 19. gadsimta mijā bija uzkrājies plašs fakto materiāls par gaismas izplatīšanos, difrakciju, interferenci un polarizāciju. Taču trūka vienots šo parādību skaidrojums. Dažas



Frenela bispoguļi. Interferences ainu veido gaismas kūļi, kas atstaroti no spoguļiem. Spoguļi novietoti nelielā leņķī. A – gaismas avots

īpašības (taisnvirzienu izplatīšanos) varēja labi izskaidrot, izmantojot korpuskulāro teoriju, citas (interferenci) – no viļņu teorijas viedokļa. Turpretī dubultlaušanas un polarizācijas skaidrojums radīja grūtības gan korpuskulu, gan arī viļņu teorijas piekritējiem. Priekšstats par ētera garensvārstībām neļāva izprast polarizācijas un dubultlaušanas parādības viļņu teorijā, bet korpuskulu teorijā vajadzēja korpuskulas apveltīt ar jaunām polārām īpašībām. Bija nobriedusi situācija būtiskai stāvokļa pārvērtēšanai. Skaidrību šajā jautājumā ieviesa Ogistēns Frenels.

Frenels dzimis 1788. gadā Broilē, Parīzes tuvumā. Vājās veselības dēļ viņam radās zināmas grūtības ar skolas apmeklēšanu. Neraugoties uz to, Frenels 1806. gadā pabeidza Politehnisko skolu, bet 1809. gadā Ceļu un tiltu skolu. Pēc tam viņš strādāja par inženieri dažādos Francijas departamentos. Frenela dzīvē bija daudz grūtību, un izcilas sekmes zinātnē viņš varēja sasniegt, tikai pateicoties savai neatlaidībai, talantam un labai izglītībai, ko viņš guva Politehniskajā skolā. Tā dibināta 1794. gadā un bija paredzēta inženieru un zinātnisku darbinieku gatavošanai. Skolu beiguši daudzi pazīstami zinātnieki: A. Ampērs, G. Korioliss, Ž. Gē-Lisaks, N. Karno, D. Arago, Ž. Bio, A. Bekerels, S. Puasons, E. Maluss u. c. Skolā liela vērība tika veltīta tēlotājam ģeometrijai, matemātiskajai analīzei, mehānikai, fizikai un ķīmijai. Pateicoties labai pārdomātai mācību sistēmai un izciliem pasniedzējiem, skola kļuva populāra. Par to liecina arī fakts, ka Bonaparts Ēģiptes ekspedīcijā 1798. gada maijā iesaistīja piecus Politehniskās skolas profesorus un 39 audzēkņus. Pēc Direktorijas krišanas 1799. gada 9. novembrī par iekšlietu ministru kļuva Politehniskās skolas eksaminētājs Pjērs Laplase, bet par senatoru – šās skolas profesors Gaspars Monžs.

1804. gadā, iestājoties Politehniskajā skolā, 16 gadus vecais Frenels nokļuva apstākļos, kur jau bija izveidojušās zināmas



Ogistēns Frenels
(1788 – 1827)



Gaspars Monžs
(1746 – 1818)



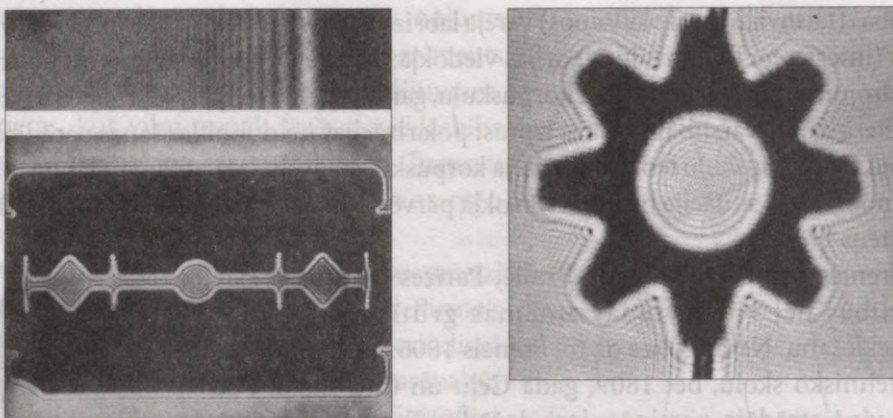
Žozefs Gē-Lisaks
(1778 – 1850)



Simeons Puasons
(1781 – 1840)



Dominiks Arago
(1786 – 1853)



Frenela difrakcija no dažādas formas šķēršļiem

tradīcijas. Pirmajā vietā citu disciplīnu starpā bija izvirzījusies tēlotāja ģeometrija, ko pasniedza Gaspars Monžs (1746 – 1818), kurš bija arī skolas direktors. Monža pasniedzēja talants un dziļās priekšmeta zināšanas neapšaubāmi palīdzēja Frenelam attīstīt telpiskās iztēles spējas, kas vēlāk bija nepieciešamas gaismas teorijas izstrādē. Arī pārējos priekšmetus mācīja augstas kvalifikācijas speciālisti. Matemātisko analīzi pasniedza profesors Proni, mehāniku – Puasons, ķīmiju – Bertolli. Proni Politehnisko skolu raksturoja kā jauna tipa mācību iestādi, kur “fizikas un matemātikas zinātnes, darbojoties vienotā frontē, veido apmācības sistēmu, kuras dažādās daļas savstarpēji saistītas, bagātinās un papildinās, pateicoties to apvienošanai”.

Tālu Francijas provincē, prom no zinātnes centriem, Frenels sāka nodarboties ar zinātniskiem pētījumiem tam nepiemērotos apstākļos bez vajadzīgā atbalsta. Viņš aizrāvās ar optiku. Tā aizpildīja visu viņa īso, bet spilgto mūžu, viņš mira 39 gadus jauns. Vispārēju atzinību Frenels guva savas dzīves pēdējos gados. 1823. gadā viņu ievēlēja par Parīzes Zinātņu akadēmijas locekli, bet 1825. gadā – par Londonas Karaliskās biedrības locekli.

1815. gada politisko notikumu dēļ uz dažiem mēnešiem tika pārtraukta Frenela inženiera karjera. Martā, “Simt dienu” sākumā, viņš tika atstādināts no inženiera pienākumu pildīšanas un izsūtīts uz nelielu ciematu Noni. Šo sodu viņš izpelnījās par brīvprātīgo pievienošanos armijai, kas Angulemas hercoga vadībā centās kavēt Napoleona atgriešanos no Elbas. Otrās restaurācijas Tiltu un ceļu korpusa kadru sastāvā Frenels tika atjaunots jūlijā, bet aktīvā dienestā atgriezās tikai 1815. gada beigās. “Simt dienu” perioda policijas prefekta grāfa Reala labvēlības iespaidā Frenels varēja pārcelties no Nones uz Matjē ciematu Kanas tuvumā, kur dzīvoja viņa māte. Tas Frenelam radīja iespēju dažas dienas pavadīt Parīzē, lai konsultētos ar citiem zinātniekiem, to skaitā ar Arago, kurš bija beidzis Politehnisko skolu gadu agrāk. Ar Arago Frenelam veidojās laba sadarbība, galvenokārt morāla atbalsta jomā.

Šī piespiedu atpūta kļuva izšķiroša Frenela turpmākajā zinātniskajā darbībā. Tikai 1815. gadā Frenelam rodas iespēja veltīt savu brīvo laiku gaismas difrakcijas un inter-

ferences pētījumiem. Ievērojot izolētību, kādā viņš bija spiests dzīvot, Frenels nevarēja zināt par savu priekšgājēju pētījumiem gaismas viļņu teorijā, jo Frenela mācību laikā optika vēl nebija sasniegusi to līmeni, kādā tā bija dažus gadus vēlāk. Frenels tērēja daudz pūļu, atklājot jau zināmo.

Laikā, kuru Frenels pavadīja Matjē, viņš pētīja difrakciju. Frenels tāpat kā Jungs saprata, ka ēnu veidošanās, ko viļņu teorija nevar izskaidrot, saistīta ar difrakcijas parādībām, ko savukārt neizskaidro korpuskulu teorija. Šo parādību pētīšanu Frenels izvirzīja par savu uzdevumu. Viņam nebija ne mikrometra difrakcijas joslu platuma mērīšanai, ne heliostata, lai iegūtu nomainīga virziena Saules starus. Tajā laikā vēl nepazīna elektriskos gaismas avotus. No mākslīgajiem gaismas avotiem varēja izmantot tikai eļļas lampas un sveces, bet to gaisma bija ļoti vāja. Frenels iztika ar dažām vienkāršām ierīcēm, ko varēja izgatavot ciema kalējs. Šā darba laikā Frenels uzrakstīja divus plašus memuārus, kurus nosūtīja Parīzes Zinātņu akadēmijai. Darbus izskatīja akadēmijas sekretārs D. Arago. Ar Tiltu un ceļu departamenta ģenerāldirektoru tika panākta vienošanās, ka Frenels 1816. gada sākumā dažus mēnešus varēja uzturēties Parīzē eksperimentu atkārtošanai labākos apstākļos. Tā radās "Memuārs par gaismas difrakciju".

Frenels savus eksperimentus uzsāka ar ēnu pētījumiem. Viņš rakstīja: "Ne vienu reizi vien es pielīmēju nelielu melna papīra kvadrātu dzelzs vada vienai pusei, kuru izmantoju savos eksperimentos, un vienmēr ieraudzīju, ka joslas ēnas iekšpusē izzūd tieši iepretī papīram, taču es meklēju šā papīra ietekmi tikai uz ārējām joslām un pilnīgi nepievērsu uzmanību šīs aprīnījamās parādības sekām. Tā mani pārsteidza, kad sāku nodarboties ar iekšējām joslām, un es nekavējoties secināju: aizsedzot gaismu, kas nāk no vada vienas puses, var panākt iekšējo joslu izzušanu. Tātad, lai veidotos joslas, nepieciešama to staru mijiedarbība, kas nāk no vada abām pusēm. Šis secinājums... ir pretrunā ar Ņūtona hipotēzi un apstiprina svārstību teoriju." Atklājis no jauna Junga interferences principu, Frenels izskaidro arī citas parādības, to skaitā plāno kārtiņu krāsas.

Frenelam nebija zināmi pēdējo gadu darbi, kas veltīti viļņu optikai. Vistālāk šajā jomā bija ticis Jungs. 1816. gadā Arago un Gē-Lisaks ceļojuma laikā Anglijā apmeklēja Jungu. Runājot par nesen publicēto Frenela darbu, kur aplūkota difrakcija, Jungam bijuši iebildumi. Jungs arī paziņojis, ka šādus eksperimentus viņš veicis jau 1807. gadā. "Šis apgalvojums," rakstīja Arago, "mums šķita nepamatots." Notikumi risinājās Napoleona kara laikā, un ir iespējams, ka zinātnieki kontinentā nebija pietiekami iepazinušies ar Junga darbiem. Taču zinātnieku starpā izcēlās strīds. Junga kundze, kura bijusi klāt sarunā, šo strīdu izšķīrusi ļoti uzskatāmi. Klusēdama izgājusi no istabas, tādējādi samulsinot viesus, bet drīz atgriezusi ar Junga "Lekciju" pirmo sējumu. Klusēdama nolikusi to uz galda, atšķīrusi 787. lappusi un ar pirkstu parādījusi zīmējumu. Zīmējumā bijušas uzskatāmi redzamas difrakcijas joslas un to skaidrojums no viļņu teorijas viedokļa.

Uzzinājis par šo sarunu no Arago, Frenels nosūtīja draudzīgu vēstuli Jungam. "Ja tīci, ka esi izdarījis atklājumu," rakstīja Frenels, "tad ne bez nožēlas domā, ka kāds cits to izdarījis pirms tevis, un es Jums atklāti atzīstos, ser, ka tādas bija manas izjūtas, kādas es pārdzīvoju, kad Arago man parādīja, ka manā Institutā iesniegtajā memuārā bija neliels skaits patiesi jaunu novērojumu. Taču, ja kaut kas varēja mani mierināt apstākli,

ka man nav priekšrocības prioritātē, tad tas ir apstākļi, ka liktenis mani savedis kopā ar zinātnieku, kurš bagātinājis fizikas zinātņi ar daudziem svarīgiem atklājumiem, apstākļi, kurš lielā mērā palielina manu uzticību teorijai, ko esmu pieņēmis.”

Korpuskulārās teorijas piekritēji uzskatīja, ka difrakcijas parādības izskaidrošana ir svarīgs iemesls, lai autors būtu cienīgs saņemt Parīzes Zinātņu akadēmijas 1819. gada prēmiju, cerot, ka pētījumi šajā virzienā apstiprinās korpuskulārās teorijas pareizību. Starp Akadēmijas iespaidīgākajiem locekļiem bija Laplass, Bio, Puasons, kuri par patiesu uzskatīja tieši korpuskulāro teoriju. Viņi bija pārliecināti, ka difrakcijas un interferences dziļāka izpēte novedīs pie korpuskulārās jeb emisijas teorijas triumfa. Konkursa tēmu formulēja šādi.

“Difrakcijas parādība, ko atklāja Grimaldi un kuru pēc tam pētīja Huks un Ņūtons, pēdējā laikā kļuvusi par daudzu fiziķu pētījumu avotu, to skaitā Junga, Frenela, Arago, Pujē, Bio u. c. Tika novērotas difrakcijas joslas, kuras veidojas un izvietojas ārpus ķermeņa ēnas, joslas, kuras parādās pašā ēnā, kad stari vienlaikus nāk no ļoti šaura ķermeņa abām pusēm, un joslas, kas veidojas, atstarojoties no ierobežota izmēra virsmām, kad gaisma, krītoša un atstarotā, iet ļoti tuvu gar šo virsmu malām. Bet vēl netika pietiekami precīzi noteikta staru kustība pašu ķermeņu tuvumā, kur notiek staru izliekšanās. Šīs kustības daba šobrīd ir difrakcijas problēmas centrālais punkts (*le point de la diffraction*), kuru nepieciešams padziļināt vispilnīgāk, jo tajā ietverts fizikālā procesa noslēpums, kura dēļ stari izliecas un sadalās dažādās joslās dažādos virzienos ar dažādām intensitātēm. Tas rosina Akadēmiju ieteikt prēmēšanai atbilstošus jautājumus, formulējot tos šādā veidā:

1) ar precīzu eksperimentu palīdzību noteikt visus tiešo un atstaroto gaismas staru difrakcijas efektus, kad stari vienlaikus vai atšķirti iet tuvu garām viena vai vairāku galīgu vai bezgalīgu ķermeņu robežai, ievērojot attālumus starp šiem ķermeņiem, kā arī attālumu līdz gaismas avotam, no kura nāk stari;

2) no šiem eksperimentiem ar matemātiskās indukcijas palīdzību izsecināt staru kustības likumus, kad tie iet tuvu garām ķermeņiem.

Prēmiju piešķirs atklātā sēdē 1819. gadā, bet konkursu noslēgs 1818. gada 1. augustā; tādā veidā memuāri jāiesniedz līdz šim termiņam, lai varētu pārbaudīt tajos ietvertos eksperimentus.”

Šī tendenciozā programma, kas kļāji izteica organizatoru plānus, Frenelā nerosināja vēlēšanos piedalīties pasākumā. Tikai piekāpjoties Arago un Andrē Marī Ampēra (1775 – 1836) neatlaidīgiem lūgumiem, Frenels piekrita savu darbu iesniegt konkursam. “Memuārs par gaismas difrakciju” tika iesniegts savlaikus. Nākamajā gadā akadēmija šo darbu prēmēja. To publicēja 1826. gadā akadēmijas rakstos, trīs gadus pēc Frenela ievēlēšanas par akadēmijas locekli.

Frenels savā darbā izklāstīja difrakcijas teoriju, balstoties uz Heigensa principu, kurš papildināts ar viļņu interferences ideju un paša Frenela 1816. gadā ieviesto koherences jēdzienu. Tas bija pietiekami, lai skaidrotu ne tikai gaismas taisnvirziena



Andrē Marī Ampērs
(1775 – 1836)

izplatīšanos, bet arī novirzes no tās, t. i., difrakciju. Šo uzdevumu veikšanai viņš izstrādāja un izmantoja zonu teoriju. Teorija bija papildināta ar skaitliskiem aprēķiniem, kur tas bija iespējams. Ja necaurspīdīgi priekšmeti ir ierobežoti ar bezgalīgām taisnām savstarpēji paralēlām malām, kas atrodas vienādā attālumā no gaismas avota, tad uzdevuma skaitlisko risinājumu dod divi integrāļi. Frenels šos integrāļus izskaitļoja tuvināti. Saskaņa starp aprēķiniem un novērojumiem bija visās detaļās.

Frenela memuāru vērtēja komisija, kuras sastāvā bija Laplass, Bio, Puasons – emisijas teorijas pārliecināti piekritēji, Arago – viļņu teorijas aizstāvis – un Gē-Lisaks, kurš atbalstīja korpuskulāro teoriju, taču ieņēma neitrālu pozīciju. Bez Frenela memuāra konkursā bija iesniegts vēl viens darbs, kurš nespēja nopietni konkurēt. Darba izskatīšanas gaitā kāda epizode atstāja lielu iespaidu uz konkursa komisiju. Puasons ievēroja, ka, izskaitļojot integrāli, kas apraksta apgaismojumu difrakcijas ainā, neliela apaļa ekrāna ēnas centrs ir gaišs, bet neliela apaļa cauruma gadījumā iegūst apgaismojumu, kas mainās atkarībā no attāluma. Pēc Puasona domām, tas nebija iespējams. Frenelam uzdeva šos gadījumus pārbaudīt eksperimentāli. Ļoti pārliecināts bija Frenela un Arago eksperiments, kurā ieguva gaišu diska ēnas centru. Kopš tā laika gaišumu apaļa diska ēnas centrā dēvē par Puasona plankumu. Komisija nolēma prēmiju piešķirt Frenelam.

E. Verdē Frenela darbu izdevuma ievadā rakstīja: “Nākotne attaisnoja lēmumu, un šodien, vairāk nekā pēc pusgadsimta kopš 1818. gada konkursa, Frenela memuārus visi pieskaita tiem neaizmirstamiem darbiem, kuru apgūšana ir vērtīga vēl ilgi pēc tam, kad zinātne tos apsteigusi. Taču šī apsteigšana nav liela. Jautājums, kuru Frenels ar nolūku atlika, – par elementārviļņu rašanās mehānismu, kas veidojas primārā viļņa dažādos punktos, un par likumiem, kuriem pakļaujas svārstību virziens un intensitāte uz šo viļņu virsmas, nav apmierinoši atrisināts līdz šim laikam, neraugoties uz mūsdienu ievērojamu fiziķu pūlēm. Tas vispārīgi pieņemtais, ar ko tika papildināts Frenela darbs, attiecas uz viņa ideju attīstību un aprēķina metodes uzlabošanu. Izveicīgi matemātiķi spēja novest līdz vienkāršai un elegantai analīzei ievērojami sarežģītākus uzdevumus nekā Frenela aplūkotie. Visos gadījumos saglabājas saskaņa starp eksperimentu un teoriju, un bez pārspīlējuma var konstatēt, ka viļņu teorija paredz difrakcijas parādības tikpat precīzi, kā gravitācijas teorija paredz debess ķermeņu kustību.”

Džeimss Bredlijs, novērojot zvaigžņu aberāciju un nosakot gaismas kustības ātrumu, izmantoja ātruma saskaitīšanas likumu, kas ir Galileja relativitātes principa sekas. Šis princips, kas bija formulēts jau 17. gadsimtā, nosaka, ka visi mehāniski procesi notiek vienādi visās inerciālās atskaites sistēmās, kas kustas vienmērīgi taisnā virzienā attiecībā cita pret citu. Matemātiskā formulējumā tas nozīmē, ka Ņūtona mehānikas vienādojumi ir invarianti attiecībā pret Galileja transformācijām, kas sasaista telpas un laika koordinātas divās invariantās atskaites sistēmās: $x' = x - ut$; $y' = y$; $z' = z$; $t' = t$. No šīm transformācijām izriet ātruma saskaitīšanas likums: $v' = v - u$.

Gaismas korpuskulārās teorijas aizstāvjiem tāda pieeja bija pilnīgi saprotama un pieņemama. 18. gadsimta otrā pusē tika ieteikta pārbaudes eksperimenta ideja. Idejas autori ieteica piepildīt teleskopu ar ūdeni un tad noteikt aberācijas leņķi. Korpuskulārās teorijas skatījumā gaismas ātrums ūdenī ir lielāks nekā gaisā, tāpēc aberācijas leņķim ir

jāsamazinās. Šis eksperiments tika realizēts pēc simt gadiem, jo aberācijas teorija vēl neizraisīja sevišķu optiķu interesi. Stāvoklis krasi mainījās sakarā ar viļņu teorijas attīstību. Tas saistīts ar vēlmi izprast ētera īpašības un tā saistību ar ķermeņu kustību.

Jungs pirmais mēģināja izskaidrot aberāciju viļņu teorijas ietvaros. Viņš atzīmēja, ka pats aberācijas novērošanas fakts liek pieņemt, ka Zemes kustība neaizrauj ēteru sev līdzī. Taču to grūti saskaņot ar parasto matēriju īpašībām. Pieņemot nekustīga ētera hipotēzi, Jungs varēja aberāciju skaidrot viļņu optikas ietvaros, kas atšķīrās no korpuskulārās teorijas skaidrojuma tikai terminoloģijā.

Tālāk šo jautājumu attīstīja Frenels. 1818. gadā tika publicēta viņa vēstule Arago "Zemes kustības iespaids uz dažām optiskām parādībām". Šī vēstule bija Frenela atbilde Arago, kurš bija lūdzis Frenelu izskaidrot no viļņu teorijas viedokļa kādu eksperimentu. 1810. gadā Arago novēroja zvaigžņu gaismas laušanu prizmā, kad Zeme kustas zvaigznes virzienā un prom no zvaigznes. Pēc Arago aprēķina stara nolieces leņķim abos gadījumos jābūt $2'$, ko varētu konstatēt. Eksperiments deva negatīvu rezultātu. Pieņemot, ka Zeme sev pilnīgi aizrauj līdzī ēteru, varētu viegli izskaidrot Arago eksperimentu. Taču tad netiek izskaidrota aberācija. Frenels izvirzīja hipotēzi, ka Zeme aizrauj līdzī tikai kādu daļu šīs vides un noteica daļējās aizraušanas koeficientu $K = 1 - 1/n^2$. Šādu koeficientu viņš ieguva, pieņemot, ka ētera blīvums vielā ρ' ir lielāks par blīvumu ārpusē ρ . Tad gaismas perturbāciju izplatīšanās ātrums ir apgriezti proporcionāls ētera blīvuma kvadrātsaknei: $n = c/v = (\rho'/\rho)^{1/2}$, kur v – gaismas ātrums vidē, c – gaismas ātrums ēterā. Frenels pierādīja, ka Zemes kustība neiespaido gaismas laušanu. Cauri prizmai zvaigzni novēro tajā virzienā, kurā tā šķiet pārbīdīta, pateicoties aberācijai. Uz izvirzīto jautājumu, vai aberācijas leņķis mainīsies, ja teleskopu papildīs ar ūdeni, Frenels deva negatīvu atbildi. Teleskopa vērsuma leņķis nav jāmaina. Aberācijas leņķa maiņu, piepildot teleskopu ar ūdeni, precīzi kompensē ētera daļējā aizraušana, ko veic kustībā esošais ūdens. Vēstuli Frenels beidz ar vārdiem: "Kaut arī šāds eksperiments nekad nav veikts, taču es nebūt nešaubos, ka tā realizēšana apstiprinās secinājumu, pie kura mēs nonākam līdzīgā veidā, vadoties pēc emisijas, kā arī viļņu teorijas."

Pēc vairākiem neveiksmīgiem mēģinājumiem šādu eksperimentu 1871. gadā izdevās realizēt angļu astronomam Džordžam Eri (1801 – 1892). Saskaņā ar korpuskulāro teoriju gaismas ātrums ūdenī ir lielāks par ātrumu gaisā, tātad aberācijas leņķim ūdenī ir jāsamazinās. Sagaidāmā leņķa izmaiņa – dažas sekundes. Mērījumu kļūda nepārsniedza vienu sekundi. Eksperimenta rezultāts, kā jau Frenels paredzēja, bija negatīvs, aberācijas leņķa maiņu neizdevās konstatēt.

Grūtības radās polarizācijas parādību izpratnē. Pirmais polarizācijas parādības novēroja Heigenss, taču nespēja tās izskaidrot. Arī Ņūtons polarizācijas skaidrojumu viļņu teorijas ietvaros uzskatīja par neiespējamu, jo grūti saprast, kā svārstības, kas paralēlas gaismas staram, var būt ar atšķirīgām īpašībām. Panākumus guva Ņūtona ideja, kas daļiņām piedēvēja polāras īpašības līdzīgi kā magnētam. Tad var rasties efekti, kas atkarīgi no daļiņu ass orientācijas attiecībā pret vidi, kura arī sastāv no daļiņām ar līdzīgām īpašībām. Ņūtona ideja tika tālāk attīstīta Malusa un Bio darbos. Taču, lai izskaidrotu ar polarizāciju saistītās parādības, bija nepieciešams piedēvēt korpuskulārām

arvien jaunas īpašības. Pret šķietamo korpuskulu teorijas triumfu uzstājās Jungs. Arī Frenels bija pārliecināts, ka polarizāciju var izskaidrot viļņu priekšstatu ietvaros.

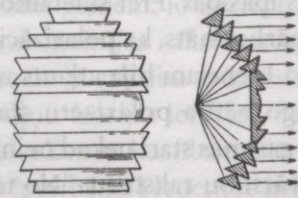
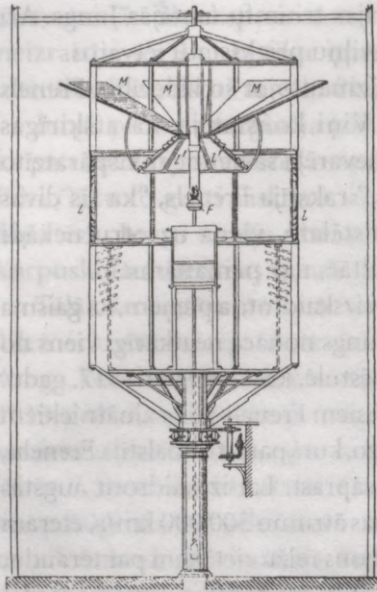
1816. gadā Frenelam bija atļauts uzturēties Parīzē. Izmantojot šo izdevību, Frenels kopā ar Arago pētīja polarizētu staru interferenci. Viņi konstatēja, ka atšķirīgas polarizācijas gaismas stari nekad neinterferē. Šo faktu nevarēja savienot ar vispāratzīto viļņu garensvārstību raksturu. "No tā visa es secināju," rakstīja Frenels, "ka šīs divas viļņu sistēmas, kurās sadalās gaisma, izejot cauri kristālam, viena uz otru nekādi neiedarbojas vai vismaz to savstarpējās iedarbības rezultāts nav pamanāms."

Atšķirīgi polarizētas gaismas nespēju interferēt var labi izskaidrot, ja pieņem, ka gaisma ir ētera šķērsvārstības. Pie šāda secinājuma Frenels un Jungs nonāca neatkarīgi viens no otra. Par saviem secinājumiem Jungs informēja Arago vēstulē, kas datēta ar 1817. gadu. Taču šī hipotēze bija pretrunā ar mehānikas likumiem. Visiem Frenela laika zinātniekiem ideja par gaismas šķērsvārstībām šķita neprātīga. Pat Arago, kurš parasti atbalstīja Frenelu, šo ideju nepieņēma līdz pat mūža beigām. To var arī saprast. Lai izskaidrotu augstas frekvences svārstību (10^{14} – 10^{15} Hz) izplatīšanos ar gaismas ātrumu 300 000 km/s, ēteram jābūt apveltītam ar fantastiskām īpašībām. Tam jābūt miljons reižu cietākam par tēraudu, bet maza blīvuma, lai netraucētu Zemes un planētu kustību. Par šo laika periodu sacīja, ka tas ir aizpildīts ar teikuma priekšmeta meklēšanu izteicējam "viļņoties".

Šo grūtību dēļ Frenels uz laiku piekrita atstāt savā difrakcijas teorijā visai jucekļīgos skaidrojumus garensvārstību priekšstatu ietvaros, kaut gan konstatēja, ka arī interferenci un difrakciju var izskaidrot, ja gaisma ir šķērsviļņi. Hipotēzi par gaismas šķērsviļņu dabu Frenels darīja zināmu atklātībai tikai 1821. gadā. Vēlāk viņš rakstīja: "Būdam savos pieņēmumos drosmīgāks un mazāk uzticēdamies matemātiķu uzskatiem, Junga kungs šo hipotēzi publicēja pirms manis, kaut arī, iespējams, atklāja to vēlāk." Frenels par gaismas avotiem uzskatīja molekulāras sistēmas, kurās atomi svārstās un savas svārstības atdod ēteram. Arī šis pieņēmums nebija pretrunā ar gaismas šķērsviļņu hipotēzi.

Akadēmiķis G. Landsbergs rakstīja: "Frenels visos savos memuāros un oficiālos izteikumos vienmēr ar lielu gatavību uzsvēra Junga tiesības uz prioritāti. Taču apzinājās viņu abu relatīvo nozīmību." Frenels mira divus gadus pirms Junga, taču ir Junga ideju turpinātājs un padziļinātājs. Reiz līdz Frenelam bija nonākusi ziņa, ka Jungs sevi salīdzinājis ar ābeli, bet Frenelu ar ābolu. Sarūgtinājumā Frenels 1824. gada 26. novembrī raksta Jungam vēstuli, kur izsaka nožēlu par angļu neobjektivitāti pret franču zinātni un pierāda, ka ābols izaudzis bez koka. Vēstule tika uzrakstīta Frenela morāla un fiziska izsūkuma brīdī. Pēc dažiem mēnešiem atveseļojies, Frenels lūdza Jungu sadedzināt šo vēstuli, kas rakstīta vājuma brīdī. Turpmāk Junga un Frenela attiecības bija draudzīgas.

Ziņojumā, kuru Frenels nolasīja Parīzes Zinātņu akadēmijā 1822. gada 29. jūlijā, viņš aprakstīja bākas optisko sistēmu, kas sastāvēja no astoņām lielām speciālas formas lēcām. Lēcas, kuras 1819. gadā izgudroja Frenels, sastāvēja no koncentriskiem gredzeniem, kuru šķēlumiem bija prizmas profils. Frenela lēcas savāca gaismu lielā telpas leņķī, tām bija neliels svars un maza absorbcija. Lai panāktu bākas uguns mirgošanu, sistēmai tika piešķirta rotācijas kustība. Pirmo šādu sistēmu Frenels uzstādīja 1823. gada 23. jūlijā. Atsauksmes bija pārsteidzošas. No šā brīža viņa vārds kļuva plaši pazīstams. Frenela



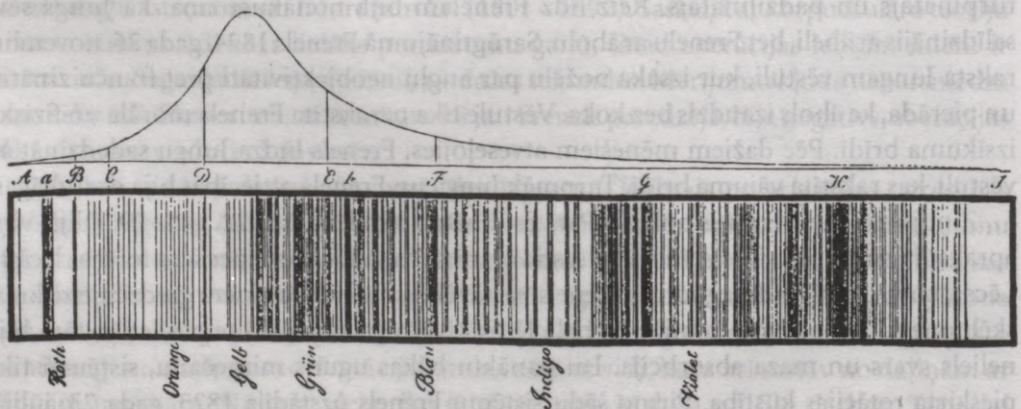
Frenela lēca

Bāka, kurā izmantotas Frenela lēcas.
Frenela rasējums

optiskās sistēmas tika nosauktas par “pilnīgās iekšējās atstarošanas katadioptriskiem lukturiem”. 1827. gadā tos izmantoja Senmartena kanālmalas apgaismošanai Parīzē.

1801. gadā anglis Viljams Volastons (1766 – 1828) neatkarīgi no vācu fiziķa Johana Ritera (1776 – 1810) atklāja ultravioletos starus pēc to fotoķīmiskās iedarbības uz sudraba hlorīda (AgCl) kristāliem. Viņš atkārtoja Ņūtona eksperimentu ar Saules spektru, izmantojot apaļas diafragmas vietā šauru spraugu. Tādējādi dažādu krāsu stari nepārklājas. Volastons novēroja spektrā vairākas tumšas līnijas un uzskatīja, ka tās atdala spektra krāsas, tādēļ par šo jautājumu vairāk nedomāja. Šo līniju rūpīgu izpēti vēlāk veica vācu fiziķis Jozefs Fraunhofers.

1814. gadā, novērojot Saules spektru ar uzlabotu spektroskopu (spektru aiz prizmas aplūkoja speciālā tālskati), Fraunhofers izmērija laušanas leņķus prizmā katrai tumšajai



Fragments no Fraunhofera Saules spektra atlanta

linijai. Līnijas tika numurētas. Vēlāk tumšās līnijas, ko novēroja Saules spektrā, nosauca par Fraunhoferu līnijām.

Saules redzamā spektra daļā Fraunhofers atklāja ap 700 tumšu līniju, no kurām 574 atzīmēja kartēs. Intensīvākās no tām Fraunhofers apzīmēja ar latīņu burtiem. Šos apzīmējumus izmanto vēl tagad.

Svarīgākās Fraunhoferu absorbcijas līnijas

Apzīmējums	λ , nm	Krāsa	Elements
A	761	sarkana	O
B	687	sarkana	O
C	656	oranža	H α
D	589	dzeltēna	Na
E	527	zaļa	Fe
F	486	debeszila	H β
G	431	zila	Ca
H	397	violeta	Ca
H ₁	393	violeta	Ca

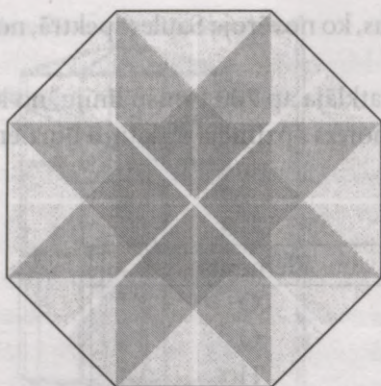
1817. gadā Fraunhofers izveidoja savu šedevru – divlēcņu ahromatisku un aplanatisku objektīvu, kura diametrs bija 25 cm, bet fokusa garums 4,3 m. Fraunhoferu konstrukcijas objektīvi praktiski bija bez komas. Lai to panāktu, ir jāievēro speciāli noteikumi, kurus Fraunhofers vēl nezināja. Aplanatisku objektīvu teoriju vēlāk izveidoja vācu optiķis Ernsts Abe.

Laikā no 1821. līdz 1822. gadam Fraunhofers pētīja difrakciju paralēlos staros, kā arī izveidoja un izmantoja Saules spektra pētīšanai difrakcijas režģa spektrālaparātu. Režģi ieguva ar dimanta griezni, ievērojot svītras stikla plāksnītē. Labus režģus Fraunhoferam izdevās izgatavot, ievērojot svītras plānā zelta slānītī, kas bija uzklāts uz stikla plāksnītes. Labākais Fraunhoferu režģis saturēja 8000 svītru collā.

Tajā pašā laikā Londonā risinājās savā veidā kuriozs notikums, kurš saistīts ar Bārtona vārdu. Džons Bārtons bija Londonas monētu kaltuves kontroliera palīgs. 1822. gadā viņš iesniedza patenta pieteikumu, kurā bija rakstīts: "Difrakcijas krāsu iegūšanas paņēmieni uz tērauda un citu metālu virsmas un šā paņēmiena izmantošana dažādu rotājumu izgatavošanai. Mana izgudrojuma priekšmets attiecas uz gaismas sadalīšanu režģa svītrās, kas izveidotas uz metāla virsmas; pēc būtības ir runa par sevišķi smalkām paralēlām svītrām, bet konkrēti – par 500 līdz 1000 svītrām uz collu, kas iegrieztas uz rūdītas pulētas tērauda virsmas ar dimantu vai ar kādu citu pietiekami cietu griezni tā, lai uz tērauda vai cita metāla virsmas veidotos pamata vai difrakcijas krāsas. Turklāt, ar šādu rūdītu pulētu tēraudu presējot, svītras var pārnest uz citiem materiāliem, uz kuriem tādējādi veidojas līdzīgas difrakcijas krāsas. Tālāk es gribētu viennozīmīgi uzsvērt, ka mana izgudrojuma būtība ir šāda: veidot šīs svītras un krāsas



Jozefs Fraunhofers
(1787 – 1826)



Bārtona pogai bija izveidots raksts no 8 krustotiem režģiem



Režģu difrakcijas aina ir ļoti sarežģīta

izrotāšanas nolūkā ar ierīču palīdzību, kas pēc savas dabas atkarīga tikai no strādājošā meistarības un izdomas. Mans izgudrojums neattiecas uz mašīnu vai instrumentu, ar kura palīdzību šo darbu var izpildīt.”

Šā patenta nolūks bija neparastās idejas, ko izmantoja toreizējās Anglijas švītu apgērba rotājumos, aizsardzība. Izgatavotās pogas faktiski bija difrakcijas režģi. Pēc Bārtona metodes optisko režģi iegriezta uz nedaudz izliektas pulēta un rūdīta tērauda štances, ar kuras palīdzību pēc tam zem spiediena režģi veidoja uz ieliektām metāla pogām. Šīs pogas jau tajā laikā izraisīja interesi. Deivids Brjūsters 1831. gadā rakstīja: “Ar precizijas darbgalda starpniecību, kuram bija ļoti akurāti apstrādāta vārpsta, Bārtonam izdevās iegriezt tēraudā svītras 1/2000 līdz 1/10 000 collas attālumā. Šīs svītras veidoja ar dimanta griezni, to paralelītāte bija tik pilnīga un attālums starp tām ieturēts ar tādu vienmērību, ka bija iespējams novērot 6, 7 un pat 8 difrakcijas maksimumus, kas sastāvēja no spektrālām krāsām, kuras bija tikpat kvalitatīvas kā ar labākajām prizmām iegūtās.” Dalāmā mašīna jau bija izgudrota agrāk. To izveidoja Harisons, kura tēvs ieguva Admirālītes prēmiju par pirmā precīzijas hronometra izgudrošanu koordinātu noteikšanai.

Zinātniskajā muzejā Dienvidkesingtonā, Londonā, atrodas oriģinālais darbgalds svītru iegriešanai, kā arī sešas Bārtona izgatavotās pogas ar atšķirīgu zīmējumu un attālumu starp svītrām.

Angļu fiziķis Semjuels Tolanskis (1907 – 1973) vienu no pogām izvēlējās interferometriskiem pētījumiem. Izvēlētajai pogai bija izveidots raksts no 8 krustotiem režģiem, kuros attālums starp svītrām bija 1/500 collas. Svītru kvalitāte bija labi redzama pogas centrālās daļas 300 reižu palielinājumā. Interferogramma parādīja, ka rievas profils ir visai komplicēts, sevišķi vietās, kur režģi pārklājas. Varēja redzēt, ka difrakcijas aina šeit ir ļoti sarežģīta, kas sekmīgi kalpoja tam nolūkam, kādam pogas tika izgatavotas.

2. 4. Optisko un spektrālo pētīšanas metožu panākumi 19. gadsimtā

19. gadsimta vidus un beigu periods raksturīgs ar strauju spektroskopijas attīstību, ko būtiski veicināja fotogrāfiskā procesa ieviešana. Sasniegumi šajās jomās ievērojami

paplašināja astronomisko pētījumu loku. Radās iespēja risināt daudzas problēmas, par kurām agrāk neuzdrošinājās pat sapņot.

Franču fiziķis un astronoms Žans Babinē (1794–1872) 1839. gadā uzlaboja spektroskopu, novietojot kolimatora lēcu pirms prizmas. Lēcas fokusā tika novietota šaura sprauga, kuras monohromatiskus attēlus varēja novērot tālskati. Tāda ir arī mūsdienų spektroskopa shēma.

Tajā pašā gadā Jakovs Dagērs (1787 – 1851) Parīzes Zinātņu akadēmijā ziņoja par dagerotipiju (*typos* – attēls) – fotografēšanas paņēmieni, ko autors nosauca savā vārdā. Dagēru uzskata par fotografēšanas procesa tēvu, taču Dagēra autortiesības ir apšaubāmas, jo atklājums lielā mērā izdarīts, izmantojot partnera Žozefa Njepsa eksperimentus.

Lielbritānijā 1841. gadā izņemts patents uz citu fotografēšanas veidu – kalotipiju (*kalos* – skaists). Tās autors ir Viljams Talbots (1800 – 1877). Abās metodēs izmanto sudraba jodīda kristālus. Taču metožu atšķirība ir principiāla. Dagerotipijā iegūst pozitīvu sudraba spoguļattēlu uz metāla plāksnītes, no kura nevar pavairot kopijas. Kalotipijā iegūst negatīvu, no kura var iegūt vēlamu kopiju skaitu.

1840. gadā ungāru optiķis Jozefs Pecvals (1807 – 1891) tumšās kameras ar gadījuma rakstura lēcu vietā sāka izmantot kameru ar speciāli aprēķinātu objektīvu. Tā varēja uzlabot attēlu kvalitāti. Šāds jaunievedums ievērojami veicināja optisko un spektrālo aparātu turpmāko attīstību.

Arago jau agrāk mēģināja izmantot sudraba halogenīdus astronomiskos nolūkos. Viņš kopā ar P. Laplasu un E. Malusu mēģināja iegūt Mēness attēlu, fokusējot to ar lēcu uz ekrāna, kas bija pārklāts ar sudraba hlorīdu. Taču šis eksperiments nedevis pozitīvu rezultātu. Zināms nopelns fotogrāfijas attīstībā ir arī Dž. Heršelam. Viņš 1819. gadā atklāja hiposulfīta fiksējošo iedarbību un 1839. gadā izmantoja terminu “fotogrāfija”, kā arī sekoja Talbota eksperimentiem. Talbots centās iegūt fotokopijas tiešā ceļā (bez attīstīšanas procesa).

Jau 1843. gadā Ņujorkas fiziķis Džons Dreipers uz Dagēra plates reģistrēja Saules spektru. Dreipers atklāja tumšās līnijas Saules spektra ultravioletajā (UV) daļā. Taču spektrālie pētījumi nevainagojās ar panākumiem līdz tam brīdim, kamēr Gustavs Kirhofs 1859. gadā nebija izskaidrojis to jēgu.

1842. gadā čehu zinātniskās biedrības rakstos parādījās Prāgas profesora Kristiāna Doplera (1803 – 1853) raksts “Par dubultzvaigžņu un citu debess spīdekļu gaismas



Jakovs Dagērs
(1787 – 1851)



Viljams Talbots
(1800 – 1877)



Kristiāns Doplers
(1803 – 1853)

krāsu". Šajā darbā pirmo reizi izvirzīts jautājums par viļņu avota vai novērotāja kustības iespaidu uz novēroto frekvenci, kas vēlāk tika nosaukta par Doplera efektu.

Akustiskajiem viļņiem Doplera efektu eksperimentāli novēroja 1845. gadā. To veica holandiešu fiziķis Beisbalots, izmantojot Nīderlandes dzelzceļu. Muzikantu grupa izvietojās uz dzelzceļa platformas, kas kustējās ar noteiktu ātrumu. Viņu instrumentu radīto skaņu uztvēra cita muzikantu grupa, kas atradās uz perona. Pēc tam grupas apmainījās lomām; kustībā esošie muzikanti noklausījās skaņas, kas nāca no perona. Abos gadījumos rūpīgi mērija atskaņoto un uztverto skaņu augstumus. Iegūtie rezultāti saskanēja ar Doplera secinājumiem. Gaismas viļņu frekvences maiņu gaismas avota kustības dēļ pirmais 1867. gadā novēroja Viljams Hagins.

1846. gadā Maikls Faradejs konstatēja, ka optiski neaktīvas vielas magnētiskajā laukā kļūst optiski aktīvas un griež polarizācijas plakni. Šī parādība vēlāk tika nosaukta par Faradeja efektu. Ja polarizācijas plakne tiek griezta pa labi, skatoties magnētiskā lauka virzienā, tad to uzskata par pozitīvu, ja plakne tiek griezta pa kreisi, – par negatīvu. Faradejs novēroja tikai pozitīvo efektu, tāds ir vairākumam vielu. Negatīvu polarizācijas plaknes griešanu atklāja vēlāk. Tāda piemīt dzelzs un retzemju elementu sāļiem, $K_2Cr_2O_7$ un vēl citām vielām. Faradejs un M. Verdē (1824 – 1866) eksperimentāli pierādīja, ka lineāri polarizētas gaismas, ja tā vielā izplatās magnētiskā lauka spēkā līniju virzienā, polarizācijas plaknes pagrieziens ir proporcionāls magnētiskā lauka intensitātei H un gaismas ceļa garumam laukā l :

$$\theta = V \cdot l \cdot H,$$

kur Verdē konstante V ir atkarīga no vielas īpašībām un gaismas frekvences. Lorencas elektronu teorijā polarizācijas plaknes pagrieziens leņķim iegūst šādu sakarību:

$$\theta = (\omega/c) \cdot l \cdot (n_+ - n_-),$$

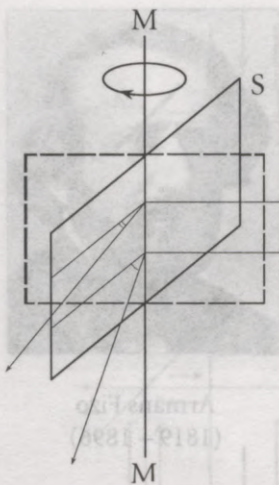
kur n_+ un n_- ir cirkulāri polarizētas gaismas laušanas koeficienti polarizācijai ar plaknes griešanu pulksteņa rādītāja kustības un pretējā virzienā.

19. gadsimta sākumperiods iezīmējās ar būtiskiem optikas sasniegumiem, taču palika neizskaidrota virkne šādu jautājumu:

- gaismas izplatīšanās ātrums vidē, salīdzinot ar vakuumu,
- ētera modelis, kas nebūtu pretrunā ar mehānikas likumbām,
- gaismas dispersija,
- gaismas emisijas un absorbcijas mehānismi.

Pēc Frenela un Junga darbu publicēšanas izvirzījās jautājums par gaismas ātruma noteikšanu uz Zemes. Gaismas ātrumam vidē un ēterā jābūt atšķirīgam. Arago jau 1833. gadā ieteica izdarīt šādus eksperimentus, kurus vājās redzes dēļ viņš pats nespēja veikt.

Arago zinātniskās intereses saistījās galvenokārt ar optiku un astronomiju. Optiskajiem pētījumiem viņš bija veltījis daudz gadu un to gaitā pievērsis uzmanību jaunā inženiera Frenela darbiem. Virkni eksperimentu viņi veica kopīgi. Daudz uzmanības Arago veltīja viļņu teorijas pareizības pierādījumiem. 1838. gadā Arago uzstājās Parīzes Zinātņu akadēmijas sēdē ar ziņojumu, kurā formulēja eksperimenta ideju, lai salīdzinātu gaismas ātrumu gaisā un šķidrumā.



Arago eksperimenta shēma:
 A un A' – gaismas avoti, L – caurule ar ūdeni, S – rotējošs spogulis,
 MM – spoguļa rotācijas ass

Divi gaismas stari a un a' no punktveida gaismas avotiem A un A' krīt uz plakānu rotējošu spoguļi S. Gaismas avoti A un A' atrodas vienā vertikālā plaknē, tiek ieslēgti vienlaikus un to izspīdēšanas ilgums ir ļoti mazs. Ja abi stari noies vienu un to pašu optisko ceļu, tad punktu A un A' attēli pēc atstarošanās no spoguļa atradīsies uz vienas vertikālas taisnes. Pieņemsim, ka augšējais stars a savā ceļā sastop cauruli ar ūdeni, bet apakšējais stars a' iet cauri gaisam. Gan korpuskulārā, gan viļņu teorija apgalvo, ka gaisma no avotiem A un A' nokļūs līdz spoguļim dažādos laikos. Atšķirība starp teorijām ir jautājumā, kurš stars pirmais atstarosies spoguļi. Ērtāk būtu izdarīt novērojumus tajā gadījumā, ja izmantotu nevis divus punktveida gaismas avotus, bet gan vertikālu spraugu.

Ja, spoguļim rotējot pulksteņa rādītāja kustības virzienā, attēla lejasdaļa novietosies labajā pusē no augšējās, tad taisnība viļņu teorijas piekritējiem un paties būs apgalvojums, ka gaismas ātrums gaisā ir lielāks nekā ūdenī. Pretējā gadījumā taisnība izrādīsies korpuskulārās teorijas atbalstītājiem, bet tad gaismas ātrums ir lielāks ūdenī. Arago ieteiktais eksperiments bija kvalitatīvs. Kvantitatīvus gaismas ātruma mērījumus veica franču fiziķi Armans Fizo (1819 – 1896) un Žans Fuko (1819 – 1868).

Fuko dzimis Parīzē grāmatnīgotāja un izdevēja ģimenē. Sliktās veselības dēļ viņš varēja mācīties tikai ar pārtraukumiem. Taču jau no agras bērnības Fuko piemita spējas veikt praktiskus darbus. Jau 13 gadu vecumā viņš izveidoja darbojošos tvaika mašīnas modeli. Šis eksperimentētāja talants izpaudās visā neilgajā Fuko mūžā. Armans Fizo bija četras dienas jaunāks par Fuko. Fizo tēvs bija Parīzes universitātes medicīnas fakultātes katedras vadītājs. Fizo sāka apgūt medicīnu, taču vēlāk ieinteresējās par fiziku. Liela nozīme viņa dzīvē bija iepazīšanās ar Arago, kurš viņu uzaicināja strādāt Parīzes observatorijā.

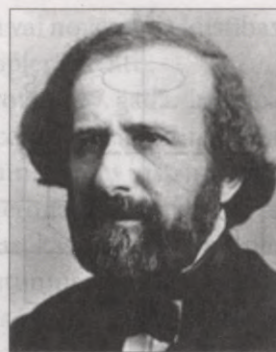
Fuko un Fizo kopā saveda fotogrāfija jeb, kā toreiz sauca, dagerotipija. Viņus interesēja negatīvu attīstīšanas procesa pilnveidošana. Pirmie zinātniskie kontakti pārauga sadarbībā.



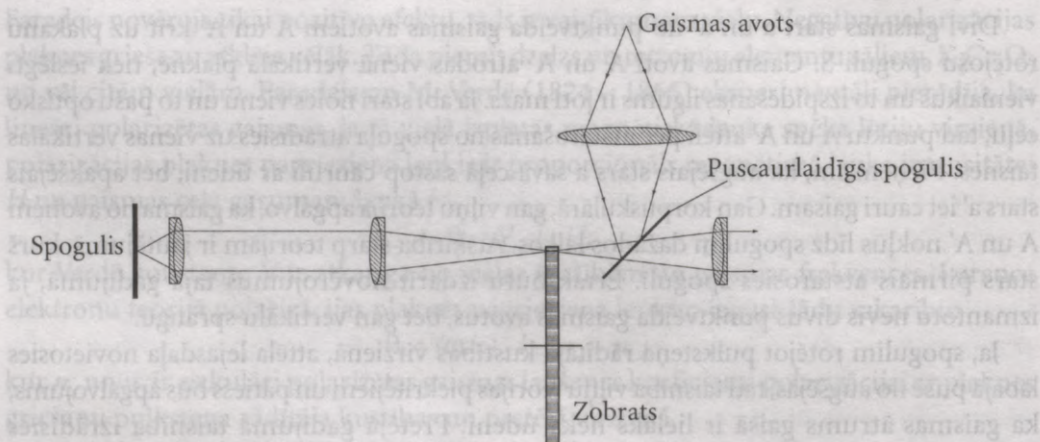
Žans Fuko
 (1819 – 1868)

Arago ietekmē Fizo un Fuko veica virkni svarīgu eksperimentu, kas apstiprināja gaismas viļņu dabu. 1846. gadā abi zinātnieki novēroja gaismas interferenci lielām ceļa starpībām, kas bija vienlīdzīga 7000 viļņu garumiem. Neraugoties uz labajiem rezultātiem, 40. gadu beigās sadarbība beidzās un iesākās zinātniskās sacensības laiks. Šis sacensības objekts bija gaismas ātruma mērījumi uz Zemes.

Pirmais šo pasākumu realizēja Armāns Fizo, kurš 1849. gadā izstrādāja gaismas ātruma noteikšanas metodi ar nekustīgu spoguļi un rotējošu zobratu, kam bija 720 zobu. Gaisma pēc iziešanas cauri robam starp zobrata zobiem ar lēcu tika fokusēta uz 8,633 km lielā attālumā novietotu spoguļi, kas to atstaroja atpakaļ uz zobratu. Ja zobrata griešanās ātrums bija tāds, ka atstaroto gaismu aizšķērsoja zobrata zobs, tad acī nonāca



Armāns Fizo
(1819 – 1896)

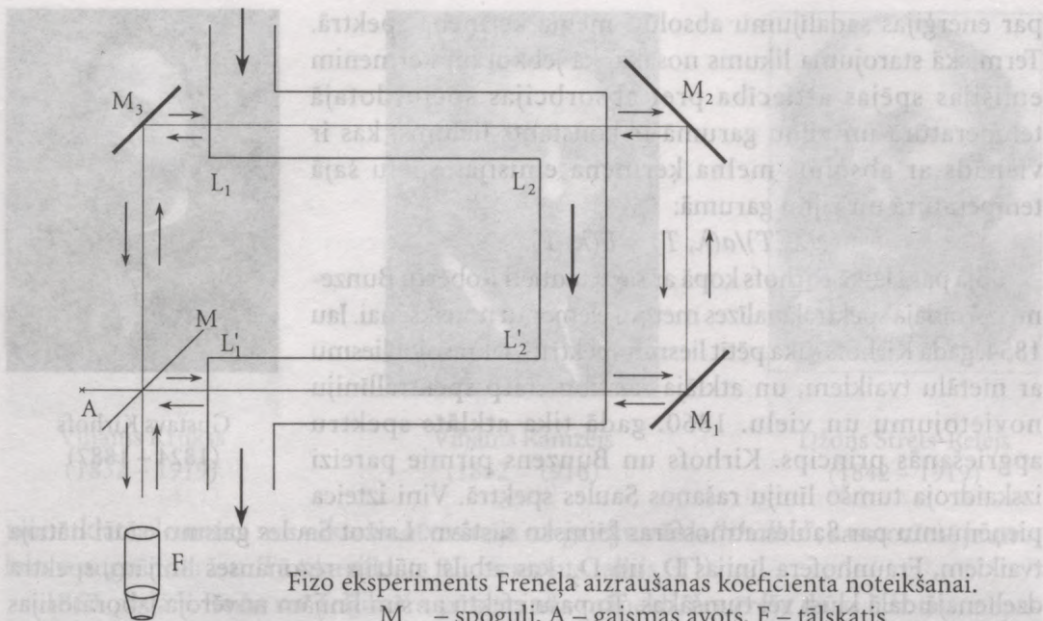


Fizo gaismas ātruma noteikšanas eksperiments ar rotējošu zobratu

minimāla gaismas plūsma. Zinot iekārtas parametrus, varēja aprēķināt gaismas kustības ātrumu, kas Fizo eksperimentos bija 313 300 km/s.

Fizo eksperiments ļāva noteikt gaismas ātrumu gaisā. Vēlāk Fizo izstrādāja gaismas ātruma mērīšanas metodi ūdenī, taču praktisku rezultātu pirmais guva Žans Fuko, kurš 1850. gadā izveidoja gaismas ātruma mērīšanas metodi ar rotējošu spoguļi. Ievietojot stara ceļā trauku ar ūdeni, varēja izmērīt gaismas ātrumu ūdenī, kur tas bija 1,33 reizes mazāks nekā gaisā. Nedaudz vēlāk (1851. g.) Fizo mērija Frenēļa aizraušanas koeficientu. Fizo veica eksperimentu, kurā izmantoja divas kivetes ar pretēju ūdens kustības virzienu. Divi koherenti gaismas kūļi, kas šķērsoja šīs kivetes, interferēja. Kūļu interferences aina pārbīdījās, salīdzinot ar to, ko novēroja, ja ūdens bija nekustīgs. Apstiprinājās Frenēļa hipotēze. Fizo ieguva aizraušanas koeficientu 0,46.

1862. gadā Fuko atkārtoti veica mērījumus gaisā un šajos mērījumos noteiktā gaismas ātruma vērtība bija 298 000 km/s ar kļūdu 500 km/s. 1958. gadā par starptautisku standartu tika pieņemta gaismas izplatīšanās ātruma vērtība 299 792,5 km/s ar kļūdu



0,4 km/s. Fuko mērijumi liecināja par labu gaismas viļņu teorijai, jo, pēc Ņūtona ieskatiem, gaismas ātrumam vidē jābūt lielākam nekā vakuumā.

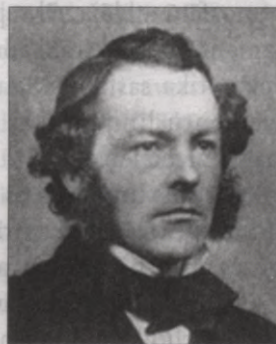
Angļu fiziķis un matemātiķis Džordžs Stokss (1819 – 1903) 1846. gadā uzskatīja (pēc analogijas ar hidrodinamiku), ka ēters, kas piekļaujas Zemei, tiek pilnīgi aizrauts līdz Zemei. Tālākie slāņi kustas arvien lēnāk un lēnāk, tādējādi kropļojas viļņu fronte, kas tiek uztverta kā aberācija.

Stokss ir veicis arī interferences, polarizācijas un luminiscences pētījumus. 1852. gadā Stokss konstatēja, ka fotoluminiscences viļņu garums ir lielāks nekā ierosinošai gaismai. Tagad šis fakts pazīstams kā Stoksa likums.

Vācu ķīmiķis Roberts Bunzens (1811 – 1899) 1850. gadā izgudroja gāzes degli, kas spektrālanalīzes agrīnajās attīstības stadijās kalpoja par spektru ierosināšanas avotu. Viņš optikā ieviesa arī optiskā blīvuma jēdzienu.

Nedaudz vēlāk – 1858. gadā – vācu fiziķis izgudrotājs Henrihs Geislers (1815 – 1879) izveidoja caurulītes ar kapilāru un diviem elektrodiem retināto gāzu spektra iegūšanai tad, kad caur gāzi plūst elektriskā strāva. Geislers pierādīja, ka mirdzuma krāsa ir atkarīga no gāzes, kā arī izteica domu, ka gāzes ķīmisko dabu var noteikt pēc izlādes krāsas.

1859. gadā vācu fiziķis Gustavs Kirhofs (1824 – 1887) formulēja termiskā starojuma likumu un izvirzīja uzdevumu



Džordžs Stokss
(1819 – 1903)



Roberts Bunzens
(1811 – 1889)

par enerģijas sadalījumu absolūti melna ķermeņa spektrā. Termiskā starojuma likums nosaka, ka jebkuram ķermenim emisijas spējas attiecība pret absorbcijas spēju dotajā temperatūrā un viļņu garumā ir konstants lielums, kas ir vienāds ar absolūti melna ķermeņa emisijas spēju šajā temperatūrā un viļņu garumā:

$$e(\lambda, T)/a(\lambda, T) = E(\lambda, T).$$

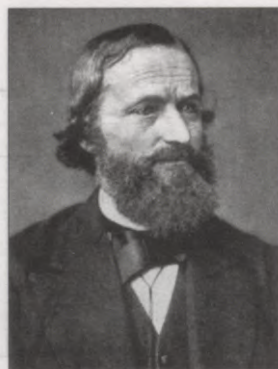
Tajā pašā laikā Kirhofs kopā ar savu tautieti Robertu Bunzenu izstrādāja spektrānālizēšanas metodi elementu noteikšanai. Jau 1854. gadā Kirhofs sāka pētīt liesmu spektrus, iekrāsojot liesmu ar metālu tvaikiem, un atklāja saistību starp spektrālīniju novietojumu un vielu. 1860. gadā tika atklāts spektru apgriešanās princips. Kirhofs un Bunzens pirmie pareizi izskaidroja tumšo līniju rašanos Saules spektrā. Viņi izteica pieņēmumu par Saules atmosfēras ķīmisko sastāvu. Laižot Saules gaismu cauri nātrija tvaikiem, Fraunhoferas līnijas D_1 un D_2 , kas atbilst nātrija rezonanses līnijām, spektra dzeltenajā daļā kļūst vēl tumšākas. To pašu efektu ar šīm līnijām novēroja laboratorijas gaismas avotiem. Tā tika pierādīts, ka Saules atmosfērā ir nātrija tvaiki. Vēlāk Saules atmosfērā atklāja vēl septiņu elementu (Mg, Ca, Cr, Cu, Zn, Ba, Ni) līnijas. 1861. gadā, izmantojot spektrālo aparātu ar četrām prizām un okulāru, kurš palielināja četrdesmit reizi, tika sastādīts Saules absorbcijas līniju atlants. Šīs līnijas tika identificētas ar to elementu līnijām, kas sastopami uz Zemes. Līniju stāvokļus noteica pēc prizmas pagrieziena leņķa.

Kirhofs un Bunzens noskaidroja Talbota izteiktās idejas pareizību, ka katra emisijas līnija spektrā ir raksturīga elementam, kas to izstaro. Šī atziņa un secinājums, ka visas gāzes absorbē tieši tās pašas līnijas, ko izstaro, ir spektrānālizēšanas pamatā.

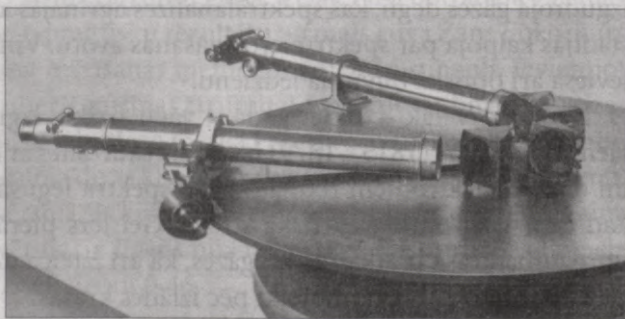
Pateicoties spektrānālizēšanai, turpmākajos gados tika atklāti virkne elementu: tā 1860. gadā Kirhofs un Bunzens atklāja 55. elementu cēziju (Cs), kuru identificēja pēc tā zilajām līnijām ("caesius" – debeszils).

1861. gadā Kirhofs un Bunzens atklāja 37. elementu rubīdiju (Rb), kura nosaukums aizgūts no latīņu vārda "rubidus" – sarkans. Rubīdija spektrā ir redzamas sarkanās līnijas. Cēziju un rubīdiju atklāja minerālūdenī.

1861. gadā angļu fiziķis un ķīmiķis Viljams Krukss (1832 – 1919), spektrāli pētīdams selēna rūdu, ievēroja smaragdzaļas krāsas spektrālīniju, kāda vēl nebija novērota. 1862. gadā viņam izdevās no rūdas atdalīt tīrā veidā svinam līdzīgu metālu, kuram redzamajā spektra daļā ir tikai viena zaļa līnija. Krukss



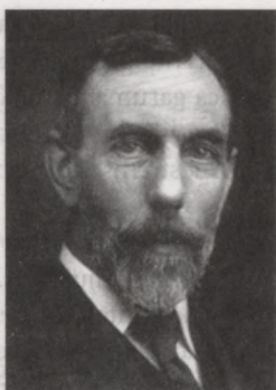
Gustavs Kirhofs
(1824 – 1887)



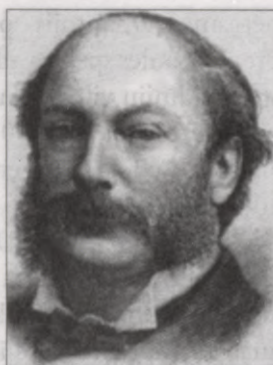
Kirhova spektroskops



Viljams Krukss
(1832 – 1919)



Viljams Ramzejs
(1852 – 1916)



Džons Strets-Relejs
(1842 – 1919)

jaunatklātā elementa nosaukumu atvasināja no grieķu vārda “thallos”, kas nozīmē jaunu, leknu augu nokrāsu. Tā tika atklāts 81. elements tallijs (Tl).

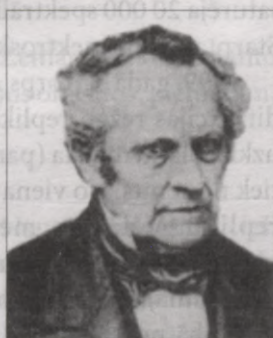
1863. gadā F. Reihls un T. Rihters, pētot cinka māneklis, novēroja divas līdz tam nepazīstamas zilās spektrālīnijas. Tika atklāts 49. elements indijs (In), kura nosaukums atvasināts no latīņu vārda “indicum”. 1894. – 1898. gadā angļu fiziķis un ķīmiķis Viljams Ramzejs (1852 – 1916) atklāja un pētīja inertās gāzes: argonu (1894. gadā, kopā ar Dž. Releju), hēliju (1859. gadā), neonu, kriptonu un ksenonu (1898. gadā, kopā ar M. Traversu).

Laikā no 1861. gada līdz 1923. gadam, izmantojot spektrālanalīzi, noteica 25 ķīmiskos elementus. 1869. gadā krievu zinātnieks Dmitrijs Mendeļejevs (1834 – 1907) konstatēja elementu īpašību periodiskumu un uz tā pamata izveidoja ķīmisko elementu periodisko tabulu. Viņš paredzēja vēl neatklātu elementu (gallija, germānija un skandija) īpašības.

Spektrālanalīze guva plašas izmantošanas iespējas ne tikai jau pazīstamu vielu pētīšanā un jaunu elementu atklāšanā uz Zemes, bet arī kļuva par vienīgo spēcīgo ieroci kosmisko objektu ķīmiskā sastāva noskaidrošanai.

Ievērojami panākumi bija arī jaunas spektrālās aparatūras izveidē un spektrālo metožu ieviešanā. 1855. gadā vācu zinātnieks Jūliuss Plukers (1801 – 1868) konstruēja caurulītes gāzu spektru pētīšanai un, pētot elektrisko izlādi, atklāja katodstarus. Plukers spektrus iedalīja līnijaspektros un joslu spektros. Jau 1859. gadā tika konstatēts, ka elektriskās izlādes spektrs raksturo gāzi. 1861. gadā kopā ar otru vācu pētnieku Johānu Hitrofu (1824 – 1914) Plukers pētīja ūdeņraža, slāpekļa, skābekļa, joda un sēra tvaiku spektrus.

Zviedru fiziķis un astronoms Andersss Jonass Angstrēms (1814 – 1874) ir viens no spektroskopijas radītājiem. Viņš nodarbojās ar spektrālanalīzi, siltuma un magnētisma pētījumiem. Angstrēms ir pētījis liesmu, elektriskā loka, Saules un planētu spektrus. 1868. gadā Saules atmosfēras – hromosfēras –



Jūliuss Plukers
(1801 – 1868)

pētišanai izmantojis spektroskopu, izveidojis pirmo samērā precīzo Saules spektra atlantu. Angstrēms rūpīgi izmērija Saules spektra līniju viļņu garumus, ko izteica garuma vienībās. Par vienību pieņēma $0,0001 \mu\text{m}$. Vēlāk šo vienību nosauca par angstrēmu: $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$. 1862. gadā Angstrēms Saules spektrā atklāja ūdeņradi.

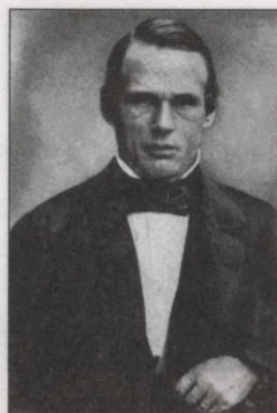
1872. – 1873. gadā Džozefs Lokjērs novēroja saistību starp elementa koncentrāciju paraugā un spektrālīniju dabu. Viņš ziņoja Londonas Karaliskajā biedrībā par kvantitatīvās spektrānālizēšanas iespējamību, salīdzinot zināmas koncentrācijas parauga spektru ar tāda parauga spektru, kam koncentrācija nav zināma. Lokjēram pieder ideja, ka līniju spektrus veido brīvi atomi, bet joslu spektrus – molekulas.

1882. gadā G. Kirhofs izveidoja difrakcijas teoriju. Šajā laikā pieauga interese par difrakcijas režģiem, lai iegūtu lielas dispersijas spektrālaparātus. Prizmas aparātos to var panākt, palielinot prizmu skaitu. Jau Kirhofs savos pētījumos izmantoja spektrālaparātus ar četrām prizmām. Vēlāk tika izgatavoti aparāti, kur prizmu skaits bija pat 9, taču tas ievērojami palielināja izkliedēto gaismu un zudumus absorbcijā.

1882. gadā amerikāņu fiziķis Henrijs Roulends izgatavoja ieliektu sfērisku atstarojošu difrakcijas režģi. Gadu vēlāk viņš izstrādāja šāda režģa teoriju. Laikā no 1886. līdz 1889. gadam ar spektrālaparātu, kura režģim bija 800 svītras milimetrā, Roulends izveidoja Saules spektra atlantu. Fraunhofera līniju viļņu garumus noteica ar $0,01 \text{ \AA}$ precizitāti. Atlanta kopējais garums bija 20 m. Roulends savāca vispilnīgākos datus par spektrālām līnijām un 1889. gadā publicēja atlantu, kas saturēja 20 000 spektrālīniju. Ilgu laiku šis atlants kalpoja par Starptautisku spektroskopijas standartu.

1899. gadā T. Torps Anglijā izgatavoja pirmās kvalitatīvās difrakcijas režģu replikas. Replikas iegūst, ja oriģinālrežģim uzklāj plānu metāla (parasti alumīnija) slānīti. Pēc tam slānītis tiek noņemts. No viena oriģināla var iegūt vairākus desmitus repliku. Vēlāk šo metodi uzlaboja R. Volless. Repliku izmantošana ievērojami palētināja spektrālaparātu izmaksas un veicināja spektroskopijas attīstību.

Laikā no 1894. līdz 1899. gadam franču fiziķi Šarls Fabri (1867 – 1945) un Alfrēds Pero (1863 – 1925) izgudroja augstas izšķirtspējas spektrālo aparātu, kas nosaukts izgudrotāju vārdā par Fabri – Pero interferometru. Tas veidots no diviem augstas kvalitātes spoģuļiem, starp kuriem ievietots speciāls starplikas



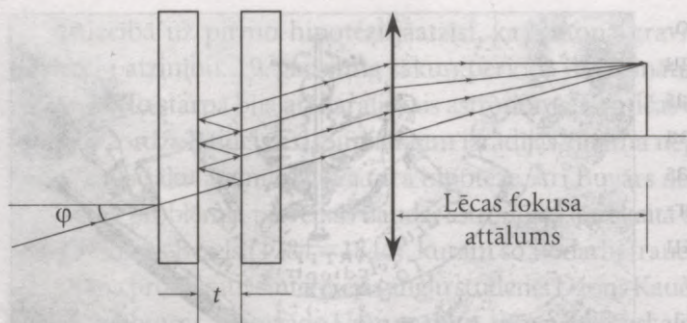
Anderss Angstrēms
(1814 – 1874)



Džozefs Lokjērs
(1836 – 1920)



Šarls Fabri
(1867 – 1945)



Fabrī – Pero interferometra shēma

gredzens attāluma regulēšanai. Izmantojot daudzslāņu dielektriskos spoguļus, var iegūt augstas kārtas interferences spektrus. Fabrī–Pero interferometru izšķirtspēja 100 reižu pārsniedz prizmas aparātu izšķirtspēju. Tas ļāva autoriem laboratorijas apstākļos pārbaudīt Doplera efektu optikā.

1885. gadā Bāzeles universitātes (Šveicē) pasniedzējs Johans Balmers (1825 – 1898) atklāja likumības udeņraža atoma spektra redzamajā daļā. Viņš uzrakstīja formulu, pēc kuras varēja aprēķināt spektrālīniju viļņu garumus. Balmera atklājums kļuva par pamatu atomu spektru interpretācijai. Tā Boram ievērojami atviegloja udeņraža atoma teorijas izveidi.

Zviedru fiziķis Johanness Rīdbergs (1854 – 1919) nodarbojās ar atomu spektru sistematizēšanu un pirmais operēja ar viļņu skaitļiem, ieviešot universālo konstanti R – Rīdberga konstanti, kā arī 1890. gadā ieteica formulu, kas aprakstīja jebkuras spektrālīnijas viļņu skaitli.

1896. gadā Nīderlandes fiziķis Pīters Zēmanis (1865 – 1943) pētīja spektrālo līniju sašķelšanos magnētiskajā laukā un par šiem pētījumiem 1902. gadā saņēma Nobela prēmiju. Mūsdienās Zēmaņa efektu izmanto magnētiskā lauka stipruma un sadalījuma pētījumiem kosmiskajos objektos, piemēram, Saules plankumos.

2. 5. Optikas un astronomijas saistība

1846. gadā atklāja Saules sistēmas astoto planētu – Neptūnu. Neptūna atklāšana cieši saistīta ar septītās planētas – Urāna – orbītas savdabībām. Laika periodā no 1810. gada līdz 1820. gadam konstatēja 15 agrākos Urāna novērojumus, kuri netika izmantoti aprēķinos. Saskaņā ar Delambra teoriju izdarītie orbītas aprēķini neatbilda Urāna stāvokļiem, kas bija iegūti šajos novērojumos. 1820. gadā franču astronoms un matemātiķis Aleksis Buvārs (1767 – 1843) centās uzlabot Delambra teoriju, izmantojot agrākos (1690 – 1771) un jaunos (1781 – 1820) Urāna novērojumus. Tas viņam neizdevās. Tad Buvārs izveidoja teoriju saskaņā ar jaunākajiem novērojumiem, pieņemot, ka agrāk izdarītie novērojumi



Johanness Rīdbergs
(1854 – 1919)



Pīters Zēmanis
(1865 – 1943)

ir kļūdaini. Upurējot agrākos novērojumus, Buvārs panāca neilgu miera periodu Urāna problēmas risināšanā, līdzīgi kā Ņūtona korpuskulārās teorijas valdīšanas laikā, kad, ignorējot vielas dispersiju, tika noliegta ahromatisku objektīvu izgatavošanas iespēja.

Rūpīga datu analīze parādīja, ka priekšnoteikumi Urāna atklāšanai bija radīti jau 1712. gadā un 1715. gadā. Flemstīda redzes laukā Urāns bija nonācis 1690. gada 23. decembrī un 1712. gada 2. aprīlī. Pēc tam Flemstīds Urānu novērojis arī 1715. gada 4., 10. martā un 29. aprīlī. Šo datu salīdzināšana parādītu, ka 1690. gadā konstatētā "zvaigzne" mainījusi savu atrašanās vietu.

Ja Buvārs nebūtu ignorējis agrāk veiktos mērījumus, kuru precizitāte bija pietiekami augsta, tas neapšaubāmi veicinātu Urāna orbītas savdabību patieso cēloņu noskaidrošanu. Buvāram par attaisnojumu jāmin viņa paša dotais aprēķinu vērtējums. Viņš rakstīja: "...es atstāju nākamībai uzdevumu noskaidrot, vai abu sistēmu (t. i., divu orbītas variantu, no kurām viena atbilst tikai "veciem", bet otra – tikai "jau-niem" novērojumiem) savietošanas grūtības ir "vecu" novērojumu neprecizitātes sekas vai arī to nosaka kāda nezināma ārēja iedarbība, kas, iespējams, darbojas uz planētu." Zinātnieku aprindas pietiekami nenovērtēja Buvāra teorijas nepilnības.

Pēc 1830. gada Urāna stāvoklis orbītā sāka strauji atpalikt, salīdzinot ar aprēķināto. 1832. gadā kavēšanās bija jau par 30", un tā turpināja palielināties. Aprēķinos it kā tika ievēroti visi fakti: riņķa orbīta aizstāta ar elipsi, ievērotas arī Jupitera un Saturna izraisītās perturbācijas. Paša Urāna pavadoņu ietekme – ļoti niecīga. Visticamākās šķīta šādas hipotēzes:

- Ņūtona gravitācijas spēku likums nav absolūti ticams lielos attālumos no Saules,
- Urāna kustību iespaido kāda cita planēta, kas vēl nav atklāta.



Teleskopu būves trīs balsti (18. gadsimta alegorisks zīmējums): 1. balsts – dabas fizika, 2. balsts – matemātiski optiskie pētījumi, 3. balsts – praktiskā mehānika

Attiecībā uz pirmo hipotēzi jāatzīst, ka Ņūtona gravitācijas likums vēl nebija guvis vispārēju atzinību. 19. gadsimta sākumperiodā daži zinātnieki vēl šaubījās par tā unikālo raksturu. To starpā bija arī karaliskais astronoms, Griničas observatorijas direktors (1835 – 1881) Džordžs Baidels Eri. Šim faktam izrādījās zināma negatīva loma Neptūna atklāšanas vēsturē. Plašāku atzinību guva otra hipotēze. Arī Buvārs nonāca pie šīs atziņas.

Urāna problēmai pievērsās daudzi astronomi, tai skaitā arī tādi izcili prāti kā vācu zinātnieks Frīdrihs Besels (1784 – 1846), kuram šo nodarbi traucēja nopietna slimība. 1841. gadā par Urāna problēmu ieinteresējās angļu students Džons Kaučs Adamss (1819 – 1892). Cēlonis bija Eri ziņojums par savādo Urāna orbītu, taču nebija izskaidrots, kāpēc planēta novirzījusi no aprēķinātā kustības ceļa. Adamss nolēma pats to izziņāt. Adamsu iedrošināja Besela vārdi: “Esmu pārliecināts, ka pienāks diena, kad Urāna noslēpums varbūt tiks atklāts ar jaunas planētas palīdzību. Un šīs planētas elementus noteiks pēc tās iedarbības uz Urānu.”

Adamss gribēja uzzināt, kur tieši jāatrodas ārējai planētai, lai tā novirzītu Urānu no orbītas. Tam nolūkam varēja izmantot Bodes likumu, ko var ilustrēt šādi: izvēlamies skaitļu virkni 0; 3; 6; 12; 24; 48; 96; 192; 384, kura, sākot ar otro locekli, ir ģeometriskā progresija. Izpildīsim divas darbības: pieskaitīsim katram skaitlim 4 un rezultātu dalīsim ar 10. Tad iegūsim skaitļus: 0,4; 0,7; 1,0; 1,6; 2,8; 5,2; 10,0; 19,6 un 38,8. Šos skaitļus salīdzināsim ar planētu lielo pusašu vērtībām.

Planēta	Orbītas lielā pusass, ua (astronomiskā vienība)	Planēta	Orbītas lielā pusass, ua (astronomiskā vienība)
Merkurs	0,39	Asteroīdi	2,2 – 3,7
Venera	0,72	Jupiters	5,20
Zeme	1,00	Saturns	9,54
Marss	1,52	Urāns	19,9

Starp iegūtajiem skaitļiem un orbītu pusās novērojama sakritība. Uz šo likumsakarību pirmais 1772. gadā norādīja vācu astronoms Johans Daniels Ticiuss (1729 – 1796). Bode šo sakarību plaši izmantoja. Viņš arī izvirzīja hipotēzi, ka eksistējusi planēta, kuras orbīta atradusies starp Marsa un Jupitera orbītām. Šai Bodes idejai bija daudz piekritēju. Liela loma bija faktam, ka Bodes likumam atbilda asteroīdu orbītas.

Adamss pieņēma, ka meklētajai planētai ir jāatrodas 38,8 ua attālumā no Saules. Zinot planētas attālumu no Saules, var aprēķināt tās masu. Šo iespēju paver Ņūtona vispasaules gravitācijas likums. Adamsam par apmierinājumu masa izrādījās tāda, lai varētu novirzīt Urānu no orbītas par vajadzīgo lielumu. Precīzāku aprēķinu veikšanai Adamsam vajadzēja vairāku gadu datus par Urāna atrašanās vietām. 1844. gada februārī Adamss vērsās pie Kembridžas universitātes profesora Džeimsa Čellisā pēc palīdzības. Kembridžas universitātē šādu datu nebija, taču tos izdevās iegūt no karaliskā astronoma Eri. Adamss aprēķiniem veltīja 16 mēnešus un strādāja līdz pat 1845. gada vidum. Septembrī viņš nosūtīja plašu ziņojumu Čellisam. Adamss bija noteicis, kur meklētai planētai jāatrodas 1845. gada 1. oktobrī.

Tad Adamsam sākās neveiksmju periods. Pēc dažām dienām viņš devās pie Eri. Bet nesastapa to mājās. Eri bija devies darīšanās uz Franciju. 21. oktobrī Adamss atkal ieradās

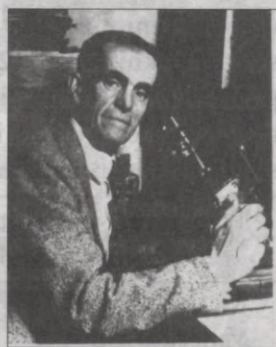
pie Eri. Un atkal karaliskā astronoma nebija mājās. Adamss atstāja zīmīti, kurā īsi pastāstīja par savu ziņojumu un norādīja, kur meklējama planēta. Adamss lūdza informēt Eri, ka pienāks vēlāk. Šķiet, ka šis lūgums nav ticis izpildīts. Kad Adamss pēc dažām stundām atgriezies pie Eri mājas, durvis atvēris pārvaldnieks un sacījis, ka karaliskais astronoms pusdienu un viņu nevar traucēt. Adamss aizbrauca no Griničas sarūgtināts. Tas, ka nenotika Adamsa un Eri tikšanās, noteica tālāko notikumu norisi. Eri nebija apmierināts ar zīmītes saturu, jo daudzi jautājumi bija palikuši bez atbildes. Tikšanās reizē tie būtu viegli atrisināmi. Eri šos jautājumus Adamsam uzdeva vēstulē, kurā izskanēja šaubas par pētījumu pareizību. Eri šaubījās, vai Ņūtona gravitācijas likums ir pareizs lielā attālumā. Turklāt Griničas observatorija bija noslogota un viņš negribēja riskēt un meklēt iedomātu ārējo planētu, ja nav drošu izredžu uz panākumiem. Arī Adamss izdarīja kļūdu, neatbildēdams uz Eri vēstuli. Adamsam šķita, ka Eri īstenībā neinteresējās par viņa ziņojumu. Anglijas kolēģu pārmetumus izpelnījās arī Čelliss. Izmantojot lielisko Kembridžas observatorijas 30 cm teleskopu un Adamsa noteikto meklējamās planētas iespējamo atrašanās vietu, kas izrādījās visai tuva patiesai, Neptūnu bija iespējams atklāt jau gadu ātrāk, t. i., 1845. gada rudenī. Šī izdevība netika izmantota, un Neptūna atklāšanas nopelni tika uzdāvināti frančiem.

1845. gada 10. novembrī pasaules astronomi saņēma pirmo oficiālo informāciju par jaunas planētas meklējumiem. Taču tā nenāca no Adamsa. Adamsa ziņojums gulēja nepublicēts rakstāmgalda atvilktnē. Jauno vēsti paziņoja franču astronoms Urbāns Leverjē (1811 – 1877). 1846. gada 1. jūnijā Leverjē nolasīja ziņojumu, norādot planētas atrašanās vietu. Dažu dienu laikā ziņojums tika publicēts. Eri to izlasīja 1846. gada 23. jūnijā. Karaliskais astronoms bija satriekts. Leverjē aprēķinātā planētas atrašanās vieta gandrīz precīzi saskanēja ar to, ko Adamss bija aprēķinājis pirms astoņiem mēnešiem.

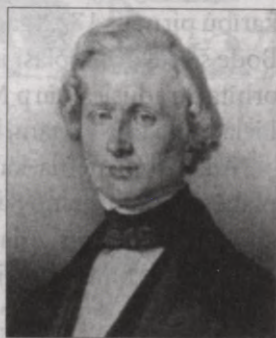
Eri uzdeva Leverjē tos pašus jautājumus, kādus bija vaicājis Adamsam. Leverjē nevilcinājās ar atbildi un apgalvoja, ka Ņūtona gravitācijas likums ir spēkā visā Visumā. Divkārtšais atrisinājums atstāja iespaidu uz karalisko astronomu. 9. jūlijā Eri lūdza profesoru Čellisu pavērst Kembridžas observatorijas teleskopu uz Ūdensvīra zvaigznāju, kur, pēc Adamsa un Leverjē aprēķiniem, jāatrodas jaunajai planētai. Čelliss uzsāka meklējumus jūlija beigās. Nelaimīgā kārtā Čellisam nebija labas izpētāmā debess apgabala zvaigžņu kartes. Viņam neizdevās rūpīgi salīdzināt savus vienas nakts novērojumus ar nākamās nakts novērojumiem.



Džordžs Baidels Eri
(1801 – 1892)



Džons Kaučs Adamss
(1819 – 1892)



Urbāns Žans Žozefs
Leverjē
(1811 – 1877)

Leverjē, nezinādams, ka Čelliss jau meklē planētu, iesniedza Francijas akadēmijai galīgo ziņojumu par saviem pētījumiem un ieteica metodi Neptūna atklāšanai. Viņš rakstīja: “Spēcīgos teleskopos būs iespējams jauno planētu redzēt un arī atšķirt pēc diska apveida. Tam ir ļoti liela nozīme: ja planētu no zvaigznēm nevar atšķirt pēc formas, tad, lai to atklātu, nāktos novērot visas mazās zvaigznes izpētāmajā debess apgabalā un konstatēt, ka viena no tām pārvietojas. Tas būtu ilgs un nogurdinošs darbs.”

Leverjē ziņojums ieinteresēja franču astronomus. Taču viņi bija apdomīgi. Viņiem vajadzēja laiku, lai iepazītos ar ziņojumā minētajiem datiem. Kad viņi kavējās uzsākt novērojumus ar teleskopiem, Leverjē kļuva nepacietīgs. Atšķirībā no Adamsa, Leverjē pārņēma iniciatīvu savās rokās. 18. septembrī Leverjē rakstīja Berlīnes observatorijas astronomam Johanam Gallem (1812 – 1910): “Pavērsiet teleskopu pret Ūdensvīra zvaigznāju ekliptikas punktā, kas atrodas 326. garuma grādā, un grāda robežās no šīs vietas jūs atradīsiet jaunu planētu, kura izskatās līdzīga 9. lieluma zvaigznei un kurai ir saskatāms disks.”

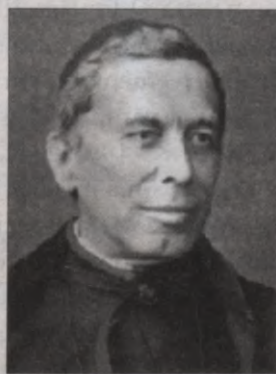
Galle nezaudēja laiku. 1846. gada 23. septembrī Galle sāka meklēt jauno planētu. Laimīgā kārtā viņš bija tikko saņēmis jaunas zvaigžņu kartes, ko bija sastādījis kāds pieredzējis Berlīnes akadēmijas astronoms. Sēdēdams pie teleskopa okulāra, viņš nosauca katru zvaigzni, ko novēroja. Viņa asistents atzīmēja katru zvaigzni uz kartes. Tā viņi strādāja apmēram pusstundu. Tad zinātnieki atklāja 8. lieluma zvaigzni, kuras nebija kartē. Uzmanīgi aplūkojot, varēja redzēt tās apaļo disku. Nākamajā naktī apaļais objekts bija mainījis savu atrašanās vietu uz zvaigžņu fona. Tā bija planēta. Galle tūlīt uzrakstīja vēstuli Leverjē un pavēstīja: “Planēta, kuras atrašanās vieta tika norādīta, tiešām eksistē.” Arago par šo zinātnes sasniegumu sacīja, ka Leverjē atklājis planētu ar savas spalvas smaili.

Izrādījās, ka Čelliss šo “zvaigzni” bija novērojis divas reizes – 4. augustā un pēc tam 12. augustā. Diemžēl viņš nebija pamanījis tās kustību un formu.

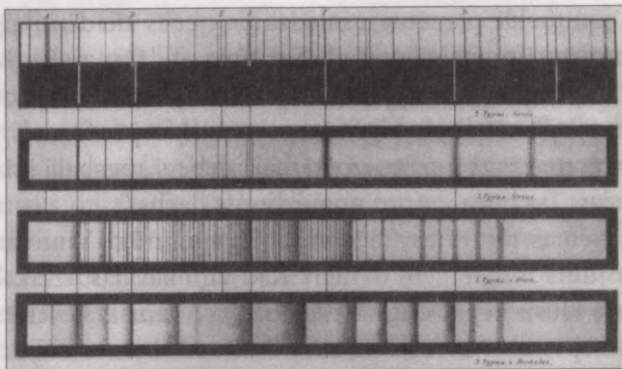
Franči gribēja jaunatklāto planētu nosaukt par “Leverjē”. Pret to iebilda citu valstu zinātnieki, jo tad tiktu noniecināts Adamsa ieguldījums. Planētu nosauca par Neptūnu, romiešu jūras dieva vārdā. Tas bija piemērots vārds, jo planēta teleskopā izskatās okeāna zilganzaļā krāsā.

Franču astronomi uzskatīja, ka slava par Neptūna atrašanās vietas noteikšanu pienākas Leverjē. Citu valstu astronomi domāja, ka Leverjē šajā godā jādalās ar Adamsu. Adamsu un Leverjē šī kņada neskāra. Viņi apsveica viens otru un viņu attiecības bija draudzīgas. Var uzskatīt, ka Urāna problēmas galvenais sasniegums bija tas, ka apstiprinājās gravitācijas likuma pareizība.

1863. gadā itāļu astronoms Andželo Seki (1818 – 1878), veicot vizuālus novērojumus, pirmais klasificēja zvaigžņu spektrus. Seki atklāja sakarību starp zvaigžņu krāsu un tumšajām absorbcijas līnijām to spektros. Balto zvaigžņu spektros viņš novēroja stipras H_{α} , H_{β} , H_{γ} un H_{δ} absorbcijas līnijas. Šīs zvaigznes veido 1. tipu. Dzeltenām zvaigznēm ir



Andželo Seki
(1818 – 1878)



Andželo Seki zvaigžņu spektru klasifikācija.
 No augšas: 2. tips – Saule, 1. tips – Sīriuss, 3. tips –
 Orions, 4. tips – Herkules

Pjērs Žansēns
 (1824 – 1907)

daudz šauru absorbcijas līniju, un to spektrs ir tāds pats kā Saulei. Tās veido 2. tipu. Sarkanām zvaigznēm novēro joslu spektrus. Tās pieder 3. un 4. tipam.

Franču astronoms Pjērs Žansēns (1824 – 1907) 1868. gada 18. augustā Saules aptumsu-
 ma laikā neatkarīgi no angļu astrofiziķa Džozefa Lokjēra (1836 – 1920), vērsot spektrosko-
 pu pret gaišo vainagu, protuberancē Saules diska malā novēroja spožu oranži dzeltenu
 līniju. Tajā pašā gadā tika izstrādāta hromosfēras gaišo līniju novērošanas metode parastiem
 apstākļiem. Telespektroskopa spraugu pavērsa Saules diska rādiusa virzienā, lai pusi spraugas
 apgaismotu Saules disks, bet otru pusi – korona. Tad ieguva Saules nepārtraukto spektru ar
 Fraunhofera līnijām, bet blakus koronas līniju spektru. Pateicoties lielai dispersijai (Junga
 telespektroskopā izmantoja 5 prizmas), nepārtrauktā spektra apgaismojums tika stipri
 vājināts, bet līniju spožums nesamazinājās. Šādā veidā ieguva hromosfēras udeņraža
 spektrālās līnijas, kas pēc novietojuma spektrā sakrita ar Saules diska tumšajām Fraunhofera
 absorbcijas līnijām. Tām blakus bija vēl nepazīstama oranži dzeltēna līnija. Sākumā to jauca
 ar nātrija D līnijām. Turpmākie mērījumi parādīja viļņu garumu atšķirības: 5876 Å
 jaunatklātajai līnijai, bet 5890 Å un 5896 Å nātrija spektra līnijām. Jaunatklātā līnija piederēja
 kādam elementam, kurš vēl nebija novērots uz Zemes. Šo elementu nosauca par hēliju,
 no grieķu vārda “*Hēlios*” – Saule. Angļu ķīmiķis Ramzejs uz Zemes hēliju atklāja tikai pēc
 27 gadiem – 1895. gadā, izdalot to no minerāla uraninīta. 1886. gadā dzeltenu hēlija līniju
 atklāja Oriona miglājā, bet 1892. gadā arī dažu zvaigžņu spektros.

Par ievērojamu speciālistu debess ķermeņu spektrālanalīzes jautājumos kļuva bagātais
 angļu astronoms amatieris Viljams Haginss, kurš, izmantojot 8 collu lēcas, 1859. gadā pie
 savām mājām Londonas tuvumā uzbūvēja privātu observatoriju. Šajā laikā viņš uzzināja
 par Kirhoha un Bunzena Saules spektru pētījumiem. Haginss rakstīja: “Man radās iespēja
 veikt darbu, kuru es neapzināti meklēju – izmantot viņa (Kirhoha) jaunās Saules pētīšanas
 metodes citu debess ķermeņu pētīšanā.” Haginss bija šādam darbam sagatavots, jo bija
 ieguvis ķīmiķa izglītību. Viņš bija izpētījis 26 ķīmisku elementu spektrus un salīdzināja
 tos ar zvaigžņu spektriem. Haginss kopā ar kādu draugu uzbūvēja spektroskopu, kuru

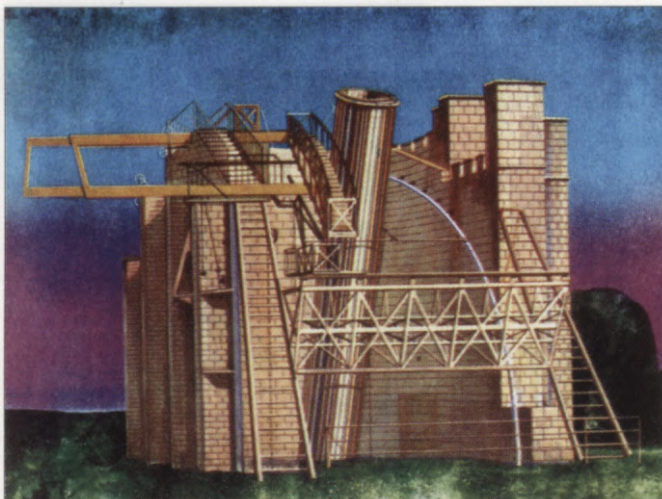
Ņūtona teleskops, 17. gs.



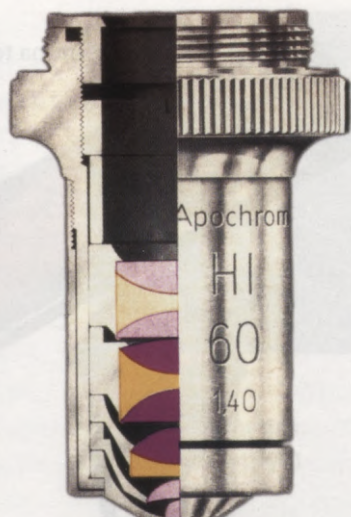
Amilārā sfēra, 16. gs.

Dažu 18. gs. izgatavotu tālskatu attēli. No kreisās puses: Londonā izgatavots tālskatis kartona korpusā (ap 1758. g.); tālskatis ziloņkaula korpusā, izgatavots Austrijā (ap 1825. g.); nezināma autora izgatavots tālskatis misiņa korpusā (18. gs. beigas); tālskatis maģoņkoka korpusā (19. gs. sākums); sešu pakāpju izvelkams tālskatis; Dondona tālskatis (ap 1800. gadu)

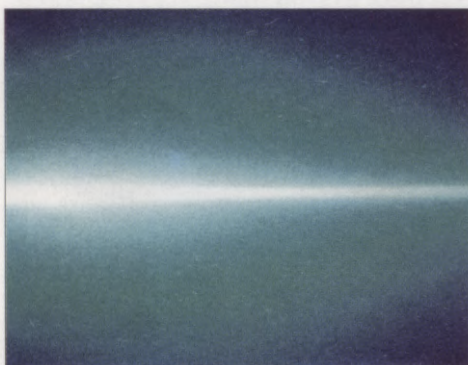




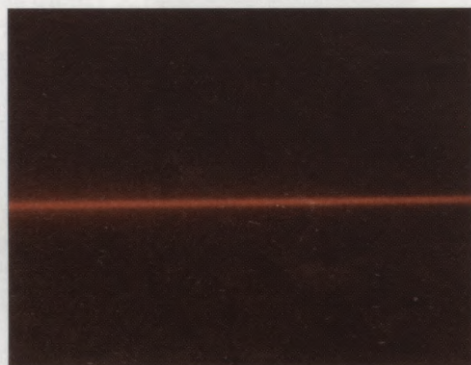
Lorda Rossa observatorija – 19. gadsimta spēcīgākais spoguļteleskops apgādāts ar 1,9 m diametra spoguļi



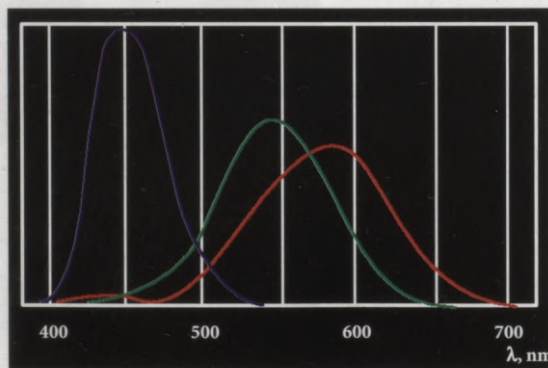
Moderna mikroskopa objektīva shēma



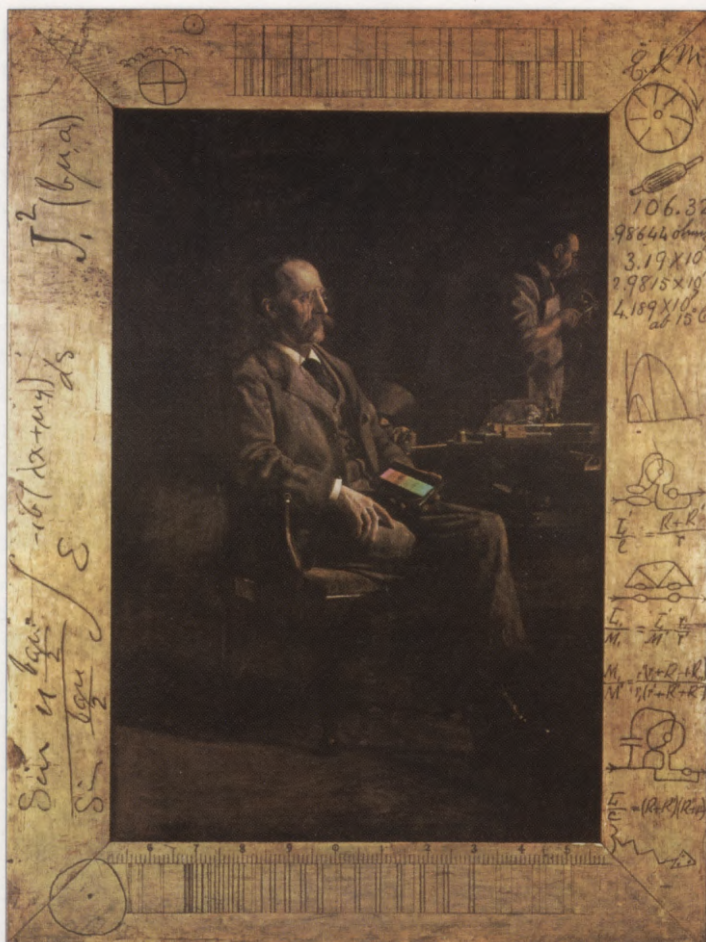
Releja izkļiede vidē, kuras nevienādību izmēri ir mazāki par gaismas viļņa garumu. Zilā gaisma izkļiedējas vairāk nekā sarkanā



Napoleons Bonaparts (1769 – 1821) bija ne tikai Francijas valsts darbinieks un karavadonis, bet arī Parīzes Zinātņu akadēmijas loceklis



Acs receptoru spektrālās jutības līknes

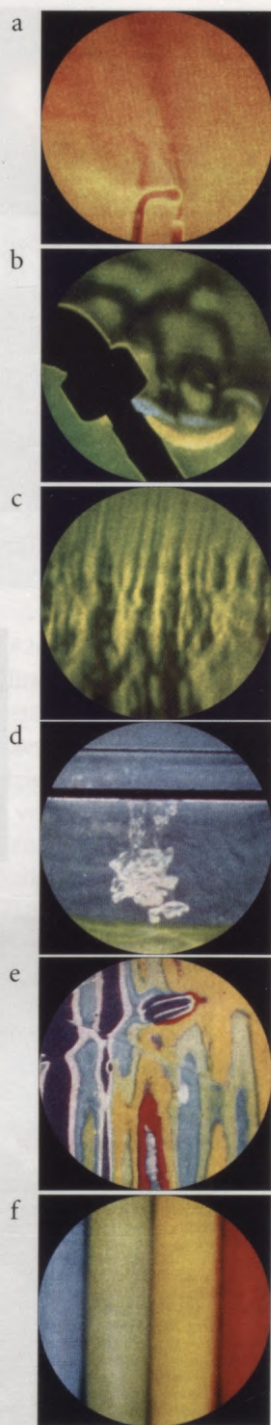


Henrija Roulenda (1848 – 1901) portrets. Roulenda kreisajā rokā attēlots difrakcijas režģis, kas iegūts ar viņa konstruēto darbgaldu. Darbgalds attēlots aizmugurē



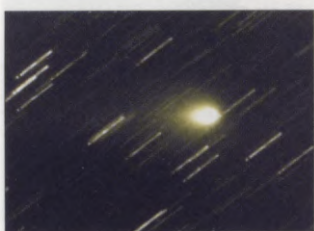
Slodzes sadalījums uzgriežņu atslēgā. Atslēgas modelis izgatavots no caurspīdīga materiāla un ievietots starp krustotiem polaroidiem. Vienādas krāsas joslas atbilst vienādiem spraigumiem.

Labajā pusē: sviļu uzņēmumi caur gaismas filtriem. a – no spraugas izplūstošs gaiss, b – sūce ogļskābās gāzes cauruļvadā, c – ogļskābās gāzes plūsma cauri sietam, d – vārāmā sāls šķīduma pilieni ūdenī, e – stikla parauga sviļi, f – garfokusa lēcas sviļi

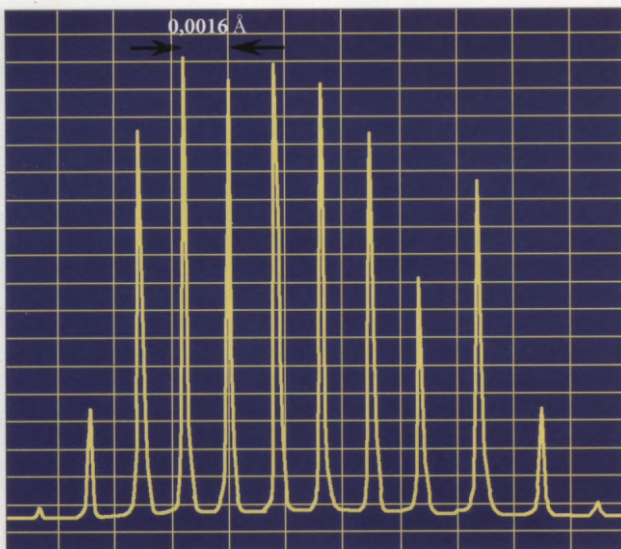




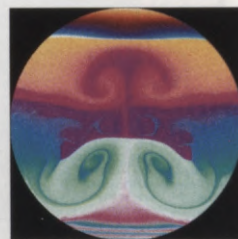
Haleja komēta 1986. g.



Džakobīni – Cinnera komēta 1998. g.



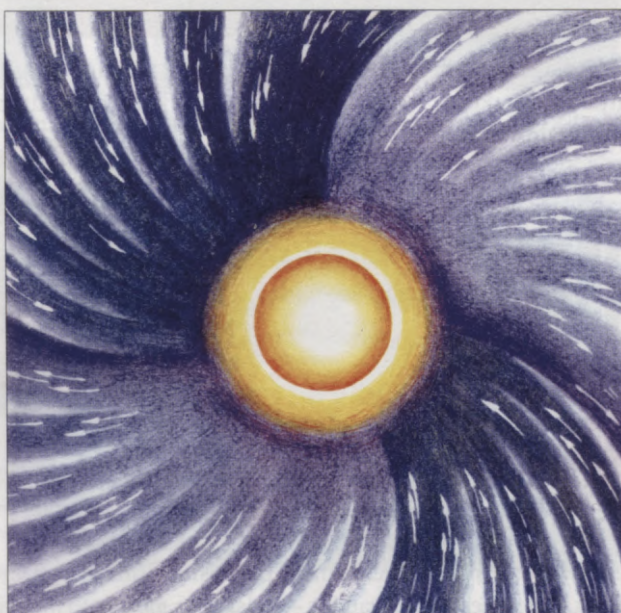
He – Ne lāzera spektrs, kas iegūts ar Fabrī – Pero etalonu



Interference ziepju plēvītēs



Saules vējš

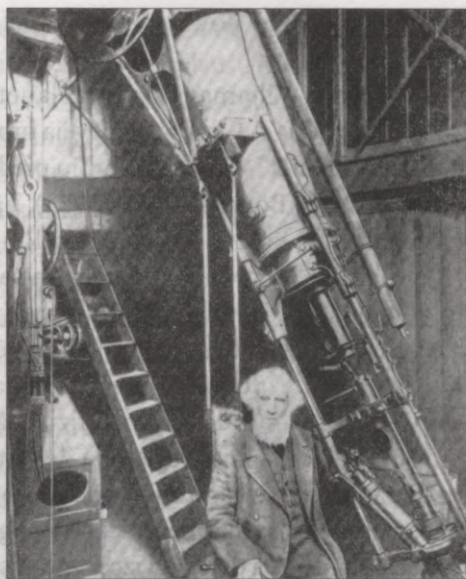


Saules magnētiskā lauka struktūra

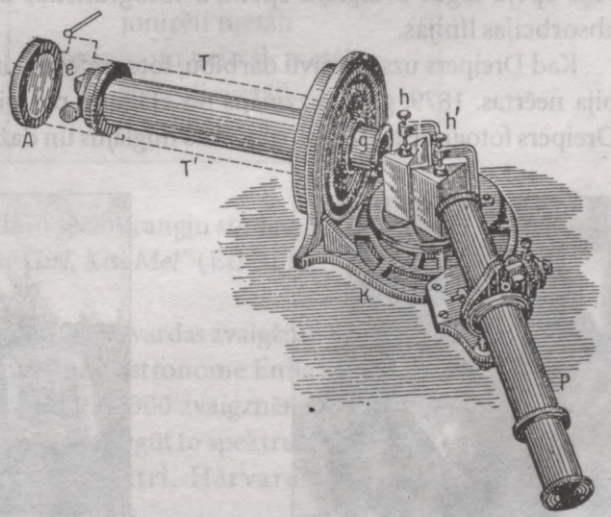
pievienoja teleskopam un apgādāja ar nelielu prizmu, lai ar tā palīdzību salīdzinātu pētāmās zvaigznes spektru ar zināma gaismas avota spektru. Haginss rakstīja: "Astronomiem tas tiešām bija lielisks cerību un zinātniskas sajūsmas laiks, jo gandrīz vai katrs novērojums atklāja to vai citu jaunu parādību un reta bija nakts, kas nevainagojās ar kādu atklājumu."

Haginss pievērsās miglājiem. Kā pirmo viņš novēroja spožo planetāro miglāju Pūķa zvaigznājā. "Es palūkojos spektroskopā un neieraudzīju gaidīto spektru, tikai vienu spožu līniju!.. Šā objekta spektru atšķirībā no visiem pārējiem, kurus es pētīju ar prizmas palīdzību, neizdevās izvērst pilnā spektrā." Rūpīga tālākā izpēte atklāja vēl arī citas vājākas līnijas. Haginss atklāja paņēmieni, kā atrisināt miglāju mīklu. Ja miglājs sastāv no zvaigznēm, tad tā spektram jāsaturs visa krāsu gamma, līdzīgi kā Saules spektram. Turpretī, ja miglājs ir gāzu veidojums, tad tā spektrs satur tikai atsevišķas līnijas, kā tas ir liesmās. Haginss rakstīja: "Pēc dažām dienām es pavērsu teleskopu uz Lielo Andromedas miglāju. Tā starojums sadalījās pilnā spektrā." Haginss secināja, ka Andromedas miglājs sastāv no milzīga zvaigžņu daudzuma. 1866. gadā Haginss uzbūvēja lielāku teleskopu un uzsāka zvaigžņu kustības pētījumus.

Ja kustoties zvaigzne attālinās no novērotāja, tad visas spektru raksturojošās detaļas pārvietojas uz garo viļņu pusi. Salīdzinot zvaigžņu spektrus ar nekustīgu gaismas avotu spektriem, kas iegūti uz Zemes, Haginss varēja pierādīt, ka zvaigznes attiecībā pret Zemi kustas ar ātrumu 15 – 30 km/s. Jāatceras, ka tajā laikā astronomijā vēl neizmantoja



Viljams Haginss (1824 – 1910) – zvaigžņu gaismas spektrānālizē pamatlicējs. Haginss konstatēja, ka planetāro miglāju spektri ir tipiski retinātas gāzes spektri, bet spirālo miglāju spektri ir līdzīgi zvaigžņu spektriem. Pētījumus Haginss veica savā personiskajā observatorijā. Attēlā redzamajam teleskopam tika pievienots spektroskops



Haginsa astronomiskais spektroskops

fotogrāfiju un visi novērojumi bija vizuāli. Spektra mazās intensitātes dēļ tas prasīja augstu meistarību.

1864. gadā Viljamss Haginss planetāro gāzu miglāju spektros atklāja zilas līnijas (4995 Å un 5004 Å), kuras piedēvēja hipotētiskam elementam nebūlijam, kas atvasināts no vārda “*nebula*” – migla. Šo līniju piederību skābeklim 1927. gadā atšifrēja amerikāņu astronoms Aira Bouens (1898 – 1973). Tās ir skābekļa divkārtšā jona aizliegtajām pārejām no metastabilā līmeņa 1D_2 uz pamatlīmeni $^3P_{1/2}$ atbilstošās līnijas.

Pamazām fotogrāfija attīstījās un sekmīgi tika izmantota vāju zvaigžņu atklāšanai un to stāvokļa fiksēšanai. Pēc Gustava Kirhofa un Roberta Bunzena darbu publicēšanas daudzi sāka pievērsties spektrālajiem pētījumiem. Biežāki kļuva mēģinājumi izmantot fotogrāfiju zvaigžņu spektru reģistrēšanai. 1868. gadā savus rezultātus publicēja Anderss Angstrēms, 1884. gadā – franču fiziķis Mari Kornī (UV spektra daļā).

1881. gadā Haginss reģistrēja Telbuta komētas spektru. Uzņēmumos bija redzams nepārtraukts spektrs ar tumšām Fraunhofera līnijām līdzīgi kā Saules spektrā un atsevišķas spožas joslas. Joslas tika identificētas kā ogļūdeņražu fluorescences spektrs. Tā tika pierādīta komētas starojuma divējādā izcelsme: atstarotā Saules gaisma un molekulu luminiscence. 1899. gadā Haginss kopā ar sievu Margaritu izdeva zvaigžņu spektru atlantu. Laikā no 1900. gada līdz 1905. gadam Haginss bija Londonas Karaliskās biedrības prezidents.

Cits amatieris, kurš ieviesa būtiskus uzlabojumus astronomijas praksē, bija Henrijs Dreipers (1837 – 1882), Ņujorkas fiziķa Džona Viljama Dreipera dēls. Kad Henrijam bija 20 gadu, viņš nonāca Lorda Rosa observatorijā, kur viņam radās doma, ka astronomiskajos pētījumos var izmantot fotografēšanas metodes. Atgriezies Amerikā, H. Dreipers uzsāka spoguļa slīpēšanu teleskopam. Izmantojot Džona Heršela padomus, Dreiperam izdevās izgatavot labu spoguļi, un tēva mājās Hudzonas upes krastā tika ierīkota observatorija.

1869. gadā H. Dreipers sāka zvaigžņu fotografēšanu. Savā privātajā observatorijā viņš spēja iegūt zvaigžņu spektru fotogrāfiskus attēlus, kur bija redzamas tumšās absorbcijas līnijas.

Kad Dreipers uzsāka savu darbību, fotografēšanā izmantoja slapjas koloīdās plātes, kas bija neērtas. 1879. gadā, uzzinājis no Haginsa par pietiekami jutīgām sausajām plātēm, Dreipers fotografēja Mēnesi, spožākos miglājus un dažu zvaigžņu spektrus. 1880. gadā viņš



Henrijs Dreipers
(1837 – 1882)



H. Dreipera observatorija Hastingsā pie Hudzonas, kur pirmo reizi tika fotografēti zvaigžņu spektri

publicēja savu pētījumu rezultātus. Viņa metode guva plašu atzinību. Ekspedīcijā Klinšu kalnos, kur tika novērots Saules aptumsums, Dreipers saslima ar plaušu karsoni un mira 45 gadu vecumā. Vīra darba rezultātus H. Dreipera sieva nodeva Hārvarda universitātei.

1897. gadā amerikāņu astronoms Eduards Pikerings (1846 – 1919) zvaigžņu spektros atklāja spektrālīniju sēriju, kas bija līdzīga ūdeņraža Balmera sērijai. Pikeringa atklātās sērijas līnijas varēja sadalīt divās grupās: vienas grupas līnijas labi sakrita ar Balmera sērijas līnijām, otras grupas līnijas novietojās starp tām. Sākumā šo spektru piedēvēja ūdeņradim, kas zvaigznēs atrodas specifiskā stāvoklī. Vēlāk izrādījās, ka šīs līnijas izstaro jonizēts hēlijs.

Ap 1890. gadu Hārvardas observatorijas astronomi E. Pikeringa vadībā klasificēja zvaigžņu spektros pēc ūdeņraža līniju intensitātes. Atklājās, ka dotajam spektra tipam atbilst noteikta zvaigznes krāsa. Ar A apzīmēja spektros, kuros novēroja ļoti intensīvas ūdeņraža līnijas. Spektros, kuros ūdeņraža līniju intensitāte bija vidēja, dalīja divās grupās. Vienā no tām bija spektri ar daudzām metālu līnijām, otrā tie spektri, kuros metālu līniju gandrīz nav, bet ir He, C, N, O līnijas. Tas saistīts ar zvaigžņu temperatūras atšķirību: pirmajā tā ir zemāka, otrajā – augstāka (zvaigžņu temperatūra mainās no 100 000 līdz 1700 K). Spektrālās klases apzīmēja ar burtiem un izvietoja šādā secībā:



Eduards Pikerings
(1846 – 1919)

Klase	Krāsa	Spektra raksturojums
O	zila	ūdeņradis, jonizēts hēlijs
B	gaiši zila	ūdeņradis, hēlijs
A	balta	ūdeņradis, jonizēti metāli
F	dzeltenīga	jonizēti metāli
G	dzeltena	jonizēti un neitrāli metāli
K	oranža	neitrāli metāli
M	sarkana	molekulas

Lai vieglāk atcerētos spektrālo klašu secību, angļu studenti izmantoja šādu frāzi: “*Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me!*” (Esi jauka meitene, noskūpsti mani!)

Šajā shēmā Saulei ir spektrālais tips G2. Hārvardas zvaigžņu spektrālo klasifikāciju izstrādāja amerikāņu astronome Enija Kenone (1863 – 1941), un tā izmantota 225 300 zvaigznēm. Zvaigznes fotografēja caur prizmu, lai varētu iegūt to spektros. Tagad zināmi ap 400 000 zvaigžņu spektri. Hārvarda observatorijas pētījumi publicēti 100 sējumos.



Enija Kenone
(1863 – 1941)

2. 6. Vielas dispersijas pētījumi

Dispersiju samērā vienkārši var izskaidrot no korpuskulārās teorijas viedokļa, ja katras krāsas gaismai piedēvē atšķirīgas korpuskulas. Turpretī atšķirīgas krāsas gaismas dažādas laušanas skaidrojums no viļņu teorijas viedokļa sastopas ar būtiskām grūtībām. Bija zināms, ka nepārtrauktā elastīgā vidē mehāniskas svārstības izplatās ar ātrumu, kas ir atkarīgs tikai no vides īpašībām un ir vienāds dažāda garuma viļņiem. Ja gaisma ir viļņi ēterā, tad, pēc analogijas ar skaņu, to kustības ātrumu ēterā nosaka pēdējā elastība un blīvums, gaismas krāsai nevajadzētu ietekmēt izplatīšanās ātrumu.

Atrisinājumu pirmais meklēja franču matemātiķis Ogistēns Koši (1789 – 1854), piedēvējot ēteram atomāru struktūru, kur atomu izmēri ir ļoti mazi, salīdzinot ar viļņu garumu. Tad laušanas koeficientam ieguva sakarību:

$$n = A + B/\lambda^2 + C/\lambda^4 + D/\lambda^6 + \dots$$

Šo izteiksmi sauc par Koši formulu, kur λ ir gaismas viļņa garums vakuumā, bet A , B , C un D – vielai raksturīgas konstantes, kas nosakāmas eksperimentāli. Praktiskām vajadzībām parasti pietiek ar pirmajiem diviem locekļiem. Ja konstantes A , B , C un D ir pietiekami veiksmīgi noteiktas, Koši formula atbilst eksperimentu rezultātiem.

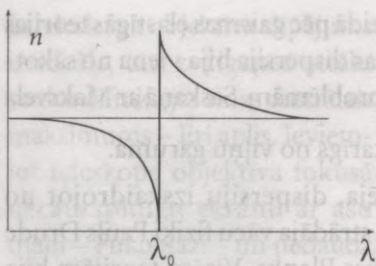
Saskaņā ar Koši formulu laušanas koeficients samazinās, palielinoties viļņu garumam. Šī parādība tika nosaukta par normālo dispersiju. Koši formula netika apšaubīta līdz pat 19. gadsimta 60. gadiem. 1862. gadā franču fiziķis Fransuā Lerū (1832 – 1907), pētot dažādu vielu laušanas koeficientus, konstatēja, ka dohta stikla prizma, kas pildīta ar joda tvaikiem, “nenormāli” lauž gaismu – zilie stari lūst mazāk par sarkanajiem. Lerū šo parādību nosauca par anomālo dispersiju.

Atkārtoti anomālo dispersiju atklāja dāņu fiziķis Kristiāns Kristiansens (1839 – 1917). Viņš novēroja gaismas laušanu prizmā, kas bija pildīta ar fuksīna šķīdumu spirtā. Tā ir anilīna krāsviela, kurai ir spēcīga absorbcijas josla spektra zaļajā daļā. Arī šajā prizmā violetie stari tika laužti mazāk nekā sarkanie.

Sistemātiski anomālās dispersijas pētījumiem nodevās vācu fiziķis Augusts Kunts (1839 – 1894). Viņš anomālās dispersijas pētījumiem izmantoja krustoto prizmu metodi, ko savā laikā ieteica Ņūtons. Šajā metodē gaisma secīgi šķērsoja divas prizmas, kuru laužējšķautnes bija novietotas perpendikulāri. Tad spektrālā josla atainoja vielas dispersijas likni (precīzāk – lielumu $n - 1$). Kunta eksperimentos otra prizma bija pildīta ar vielu, kurai redzamajā spektra daļā raksturīga šaura absorbcijas josla. Tādā gadījumā krustoto prizmu metode deva raksturīgu dispersijas ainas pārrāvumu vietā, kur vielai ir absorbcijas josla.

Anomālā dispersija ir cieši saistīta ar gaismas absorbciju. Tuvojoties absorbcijas joslai no garo viļņu puses, laušanas koeficients stipri pieaug, bet, tuvojoties no īso viļņu puses, laušanas koeficients nenormāli samazinās. Anomālo dispersiju novēro cietiem ķermeņiem, šķidrumiem un gāzēm, kam raksturīga izteikta absorbcija.

Anomālās dispersijas atklāšana bija smags trieciens Koši teorijai. Jaunas idejas šajā sakarā 1871. gadā izvirzīja vācu fiziķis V. Zelmeiers. Pēc Zelmeiera teorijas, vielas daļiņas, kas izkliedētas ēterā, ir spējīgas svārstīties, tātad tie ir harmoniski oscilatori. Šīs daļiņas atsauca uz ārēju periodisku iedarbību – rezonē, līdzīgi kā kamertonis atsauca skaņas viļņiem. Gaismas viļņa iespaidā, kura frekvence ir ω , vielas daļiņas izdara uzspiestas



Dispersijas likne pēc
Zelmeiera metodes

svārstības ar šo frekvenci. Daļiņu svārstības savukārt iedarbojas uz ēteru, un tas izraisa gaismas viļņa izplatīšanās ātruma maiņu.

Zelmeiera teorijai atbilst šāda formula:

$$n^2 - 1 = D \times \lambda^2 / (\lambda^2 - \lambda_0^2),$$

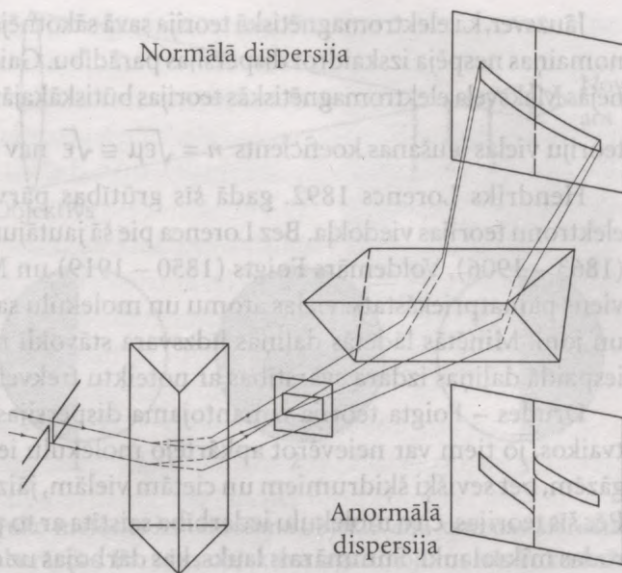
kur D – vielai raksturīga konstante, λ – viļņu garums, λ_0 – viļņa garums, kuram svārstību frekvence sakrīt ar daļiņas pašsvārstību frekvenci.

Zelmeiera formulas eksperimentālu pārbaudi 1901. gadā veica krievu fiziķis Dmitrijs Roždestvenskis (1876 – 1940).

Zelmeiera teorijas “vājā” vieta bija tā, ka vielas daļiņas tika uzskatītas par sistēmām, kas svārstās bez svārstību dzišanas. Tādējādi $n = \infty$, kad $\lambda = \lambda_0$. Vācu dabaszinātnieks Hermanis Helmholcs (1821 – 1894) 1874. gadā Zelmeiera teoriju attīstīja tālāk, papildinot oscilatora kustības vienādojumu ar locekli, kas apraksta svārstību dzišanu. Helmholca teorijā laušanas koeficients aprakstīja tipisko dispersijas gaitu absorbcijas joslas rajonā, kas, virzoties no garo viļņu puses, iziet cauri maksimumam, pēc tam strauji samazinās, savienojoties ar otru zaru, kas iziet cauri minimumam no īso viļņu puses.

Sakritība ar eksperimentu liecināja, ka teorijas pamatpieņēmumi par vibrējošām vielas daļiņām, kas rezonē līdzīgi gaismas viļņa svārstībām, un par šo daļiņu svārstību dziestošo raksturu atbilst īstenībai. Šie priekšstati kā pamatpieņēmumi tika iekļauti arī turpmākajās dispersijas teorijās, kas pamatojās uz elektromagnētiskā lauka un elektronu teorijām. Tas liecina par dziļu līdzību starp pēdējo un Zelmeiera – Helmholca teoriju. Atšķirība starp tām galvenokārt saistīta ar svārstošo sistēmu dabas, dzišanas mehānisma un fizikālo ceļoņu precizēšanu. Šajā sakarībā Roždestvenska skolnieks un līdzgaitnieks Sergejs Frišs (1899 – 1977) rakstīja: “Kā zināms, kvazielastīga elektrona teorija zinātnē nenoturējās ilgi. To sākumā nomainīja Bora teorija, bet pēc tam kvantu mehānika. Taču Roždestvenska mērijumu nozīme saglabājās: jebkura teorija, lai kāda tā arī būtu, ir spiesta pakļauties Zelmeiera formulai.”

Normālā dispersija



Anormālā
dispersija

Krustoto prizmu metodes shēma



Hermanis Helmholcs
(1821 – 1894)

Jāuzsver, ka elektromagnētiskā teorija savā sākotnējā veidā pēc gaismas elastīgās teorijas nomainās nespēja izskaidrot dispersijas parādību. Gaismas dispersija bija viena no sākotnējās Maksvela elektromagnētiskās teorijas būtiskākajām problēmām. Saskaņā ar Maksvela teoriju vielas laušanas koeficients $n = \sqrt{\epsilon\mu} \equiv \sqrt{\epsilon}$ nav atkarīgs no viļņu garuma.

Hendriks Lorencs 1892. gadā šīs grūtības pārvarēja, dispersiju izskaidrojot no elektronu teorijas viedokļa. Bez Lorencā pie šā jautājuma strādāja vācu fiziķi Pauls Drude (1863 – 1906), Voldemārs Foigts (1850 – 1919) un Makss Planks. Visām teorijām bija viens pamatpriekšstats: vielas atomu un molekulu sastāvā ir lādētas daļiņas – elektroni un joni. Minētās lādētās daļiņas līdzsvara stāvoklī notur kvazielastīgi spēki, šo spēku iespaidā daļiņas izdara svārstības ar noteiktu frekvenci ω_0 .

Drudes – Foigta teorija izmantojama dispersijas parādības skaidrošanai gāzēs un tvaikos, jo tiem var neievērot apkārtējo molekulu iedarbību uz elektronu. Saspiestām gāzēm, bet sevišķi šķidrumiem un cietām vielām, jāizmanto Lorencā dispersijas teorija. Pēc šīs teorijas, citu molekulu iedarbība saistīta ar to polarizāciju ārējā laukā, kā ietekmē rodas mikrolauki. Summārais lauks, kas darbojas uz elektronu, atšķiras no krītošā viļņa lauka. Nedaudz atšķirīgu pozīciju savā teorijā izmantoja Planks. Lorencā un Plankā formulas ir vispārīgākas par Drudes – Foigta formulu.

Zelmeiera formulu mūsdienīgā variantā pieraksta šādi:

$$n^2 = 1 + \sum_i \frac{N_i e_i^2}{\epsilon_0 m_i (\omega_0^2 - \omega_i^2)},$$

kur ω – optisko elektronu pašsvārstību frekvences. $N_i = f_i N$, f_i – oscilatoru stiprums, N – atomu skaits tilpuma vienībā, ϵ_0 – elektriskā konstante.

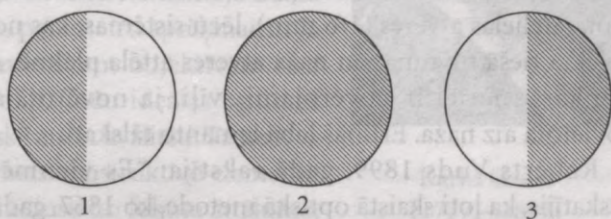
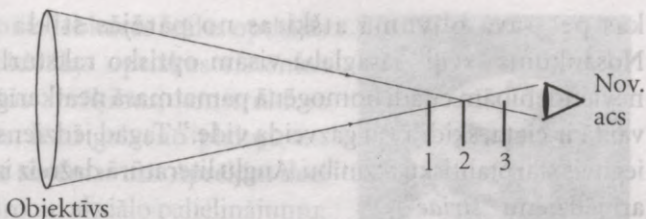
Hermanim Helmholcam bez darbiem gaismas anomālās dispersijas teorijā ir būtiski sasniegumi fizioloģiskajā akustikā un redzes fizioloģijā. Viņš veicis pētījumus akomodācijas teorijā un mācībā par krāsu redzi. Junga – Helmholca krāsu redzes teorijā pieņem, ka ir trīs dažādas vielas, no kurām katra ir jutīga pret vienu no trim pamatkrāsām. Pamatkrāsas ir sarkanā, zaļā un zilā.

Saskaņā ar šo teoriju, aktivizējot vielas, kas ir jutīgas pret sarkano un zaļo krāsu, rodas dzeltenās krāsas iespaids; aktivizējot vielas, kas ir jutīgas pret zaļo un violeto krāsu, iegūst debeszilās krāsas iespaidu. Maksimāli aktivizējot visas trīs vielas, rodas baltās gaismas iespaids. Šīs teorijas galvenos principus vienkāršā eksperimentā 1928. gadā apstiprināja S. Hehts. Eksperimenta būtība ir šāda: vienu aci aizsedz ar sarkanu filtru, otru – ar zaļu. Atverot abas acis, rodas dzeltenas gaismas iespaids.

2. 7. Praktiskās optikas attīstība un sasniegumi 19. gadsimta beigū periodā

Astronomisko novērojumu kvalitātes uzlabošana bija atkarīga no objektīvu izgatavošanas precizitātes. 1857. gadā Fuko izstrādāja ērtu un vienkāršu metodi objektīvu un spoguļu kvalitātes pārbaudei izgatavošanas procesā. Ja uz objektīvu krīt paralēlu staru kūlis no punktveida gaismas avota, kā tas ir astronomiskajos novērojumos, tad novērotājs ieraudzīs apgaismotu objektīvu, ja novērotāja acs ir novietota dažu centimetru attālumā no fokusa.

Ja teleskopa objektīva slīpējums ir ideāls, tad zvaigznes attēlu veidos difrakcijas ainās centrālais maksimums – Eri aplis. Ievietojot teleskopa objektīva fokusā necaurspīdīgu ekrānu ar asu malu – Fuko nazi – un nedaudz pārvietojot Fuko nazi perpendikulāri optiskai asij, viss zvaigznes attēls tiks aizēnots. Objektīvs būs tumšs. Gadījumā, ja objektīvam ir sfēriskā aberācija vai pielautas zonālas kļūdas, zvaigznes attēls nebūs punktveida, un naža pārvietošana nedzēsīs apgaismoto objektīvu vienlaikus, bet gan pakāpeniski. Dzišanas aina būs atkarīga no gaismas viļņu frontes kropļojumiem.

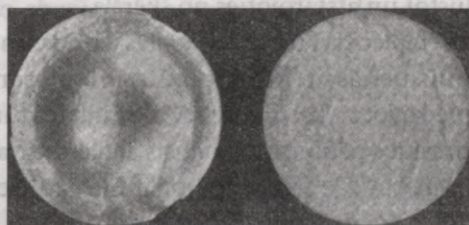


Fuko metodes izmantošana objektīvam, kam nav sfēriskās aberācijas. Parādīts objektīva izgaismojums trīs Fuko naža stāvokļiem attiecībā pret fokusu. Fuko nazis novietots uz galvenās optiskās ass

Laikā no 1864. gada līdz 1867. gadam Augusts Teplers (1836 – 1912) izstrādāja sviļu jeb joslu metodi vides optisko nevienādību pētīšanai. Teplers ir vācu fiziķis, kurš 1865. – 1869. gadā strādājis Rīgas Politehnikumā. Teplera metode ir ēnu metodes modifikācija. To plaši izmanto aerodinamikā un hidrodinamikā, stikla rūpniecībā, ķīmijā, bioķīmijā, medicīnā un citās nozarēs.

1864. gadā Teplers vēl nebija iepazinies ar Fuko darbu. 1866. gadā viņš rakstīja: “Es nevaru noklusēt, ka profesors Kirhofs Heidelbergā vērsa manu uzmanību uz L. Fuko rakstu, kurā rekomendēts princips sfērisku spoguļu pārbaudei, pilnīgi analogs manai joslu novērošanas metodei, taču bez tālskata izmantošanas... Nav jāšaubās par to, ka Fuko jau apzinājās šā principa lietderību optisko sistēmu pētīšanā. Taču metodes izmantošanu vispārēja rakstura zinātniskos pētījumos Fuko acīmredzot neparedzēja, jo par to netiek runāts.”

Fuko savu naža metodi izmantoja spoguļu un lēcu virsmu pētīšanai, turpretī Teplera metode vērsta uz caurspīdīgu objektu iekšējās struktūras novērošanu. Jau 1864. gadā Teplers min jomas, kur var izmantot viņa joslu metodi. Tā ir bezkrāsainu šķidrums un gāzu difūzijas kustība, caurspīdīgu vielu dažādu agregātstāvokļu blīvuma izmaiņas, kas rodas siltuma, spiediena, skaņas svārstību vai citu faktoru iespaidā. Teplers arī paskaidro savas metodes nosaukuma jēgu: “Sviļi, kā zināms, ir joslas un veseli optiskā stikla rajoni,



Strasbūras 49 cm objektīva fokogramma. Kreisajā pusē – pirms defektu novēršanas, labajā pusē – pēc pārslīpēšanas

kas pēc sava blīvuma atšķiras no pārējās stikla masas. Nosaukums “svīļi” jā saglabā visām optisko raksturlielumu neviendabībām citādi homogēnā pamatmasā neatkarīgi no tā, vai tā ir cieta, šķidra vai gāzveida vide.” Tagad jēdziens “svīļi” ieguvis starptautisku atzinību. Angļu literatūrā dažreiz izmanto arī jēdzienu “*striae*”.

Aparatūra, ko izmanto svīļu novērošanai, sastāv no gaismas avota, nelielas atveres (1/6 mm), lēcu sistēmas, kas novietota objekta tiešā tuvumā, un naža atveres attēla plaknē. Ar šādu vienkāršu ierīci ir novērojami svīļi, ja novērotāja acs ir novietota aiz naža. Ērtības labā izmanto tālskati.

Roberts Vuds 1899. gadā rakstīja: “Es vienmēr esmu uzskatījis, ka ļoti skaistā optiskā metode, ko 1867. gadā izstrādāja Teplers, svīļu jeb joslu (*striae*) pētīšanai, nav tik labi pazīstama aiz Vācijas robežām, kā tā būtu pelnījusi.” Vuds atkārtoja un papildināja Teplera eksperimentus, ieviešot pētāmo parādību fotografēšanu. Vudu sevišķi interesēja skaņas viļņu izplatīšanās un to forma, lūstot un atstarojoties no šķēršļa.

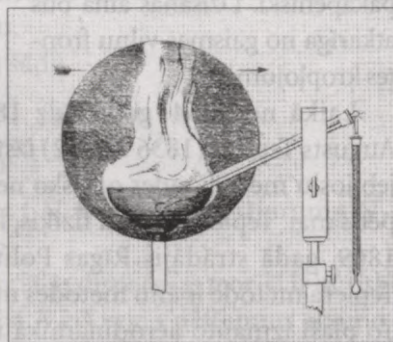
Teplera svīļu metode un tās dažādās modifikācijas mūsdienās ir ļoti izplatītas. Tepleram laimējās piedzīvot to, ka viņa dēls Maksimiliāns turpināja tēva uzsāktos pētījumus. Augusts Teplers mira 1912. gada 5. martā. Uz viņa kapa pieminekļa ir iekalti vārdi: “Es pirmais ieraudzīju skaņu.”

Kārlis Gauss (1777 – 1855) – vācu astronoms, matemātiķis un fiziķis, kurš ieviesis jaunu planētu orbītu aprēķinu metodi. 1807. gadā Gausu norīkoja par Getingenes observatorijas direktoru. Šajā postenī Gauss atradās līdz 1855. gadam, kad viņš nenoskaidrotu iemeslu dēļ beidza dzīvi pašnāvībā. 1840. gadā tika publicēta grāmata “Dioptriskie pētījumi”, kur apkopoti Gausa darbi optikā. Neskatoties uz to, ka grāmatas apjoms ir tikai 32 lappuses, šis darbs jāuzskata par jaunas optikas nozares – ideālas optiskas sistēmas teorijas – pamatu. Kaut arī citus darbus optikā Gauss nav veicis, viņš tiek uzskatīts par vienu no praktiskās optikas pamatlicējiem. Darbā izklāstīta attēlu iegūšanas teorija komplikētā optiskā sistēmā. Gauss ieviesa optikā centrētas optiskās sistēmas kardinālo punktu jēdzienu un 1845. gadā izteica domu par elektromagnētisko mijiedarbību galīgu izplatīšanās ātrumu. Jaunizveidotā praktiskās optikas nozare ieguvusi nosaukumu “paraksiālo staru optika”.

Gauss parādīja, ka ideālas optiskās sistēmas likumi ir reālu sistēmu aprēķināšanas un projektēšanas robežgadījums, ja neierobežoti samazina gaismas kūļu leņķiskos izmērus



Augusts Teplers
(1836 – 1912)



Pirmais Teplera svīļu zīmējums. Redzams siltais gaiss virs sasiluša dzīvsudraba, ko var jau novērot, ja dzīvsudraba temperatūra atšķiras par 0,6 °C no apkārtnes temperatūras

ap optisko asi, t. i., paraksiālajā rajonā. Jebkuras reālas optiskās sistēmas projektēšana sākas ar ideālas optiskas sistēmas parametru aprēķināšanu. Veicot šos aprēķinus, konstruktors atrod optiskās sistēmas gabarītus, lēcu galveno plakņu un diafragmu izvietojumu uz optiskās sistēmas ass. Aprēķini dod arī optiskās sistēmas leņķisko, lineāro un aksiālo palielinājumu.

1865. gadā vācu optiķi Negeli un Švendeners izmantoja Gausa teoriju mikroskopa optiskās sistēmas parametru aprēķinam. No trīs lēcu pāriem sastāvošam ahromatiskam objektīvam tika aprēķināti kardinālo punktu stāvokļi. Taču ideālas optiskas sistēmas teorija neļāva novērtēt optiskā attēla kvalitāti. Tā nedeļa arī iespēju noskaidrot optiskās sistēmas konstruktīvo elementu (laušanas koeficienta, lēcu liekuma rādiusu un fokusa attāluma, diafragmu lieluma) iespaidu uz aberāciju lielumu.



Kārlis Gauss
(1777 – 1855)

Aberāciju jautājumus atsevišķiem gadījumiem risināja Ņūtons, Eilers, Eri un citi zinātnieki. Dž. Eri 1827. gadā pētīja optisko sistēmu astigmatismu un attēla liekumu. Trešās kārtas aberāciju teoriju vispārīgām gadījumam 1856. gadā izstrādāja vācu optiķis A. Zeidels. Ernsts Abe 1873. gadā noskaidroja, ka stari, kas izraisa sfērisko aberāciju, nosaka arī komas lielumu. Lai novērstu sfērisko aberāciju un komu, jāizpildās Abes sinusa nosacījumam:

$$\frac{n_1 \sin u_1}{n_2 \sin u_2} = \frac{y_2}{y_1},$$

kur n_1 un n_2 vides laušanas koeficienti objekta un attēla telpā, u_1 un u_2 – apertūras leņķi, $y_2/y_1 = V$ ir optiskās sistēmas palielinājums.

Divi punkti, kuriem novērsta sfēriskā aberācija un kuriem ievērots sinusa noteikums, kopš Abes laikiem tiek saukti par aplanātiskiem. Abe noskaidroja, ka uz optiskās sistēmas ass ir tikai viens aplanātisko punktu pāris. Ja sinusa noteikums neizpildās, tad nogriežņa, kas perpendikulārs optiskajai asij, attēls veidojas neasi.

Īrijas matemātiķis un fiziķis Viljams Hamiltons (1805 – 1865) pievērsa uzmanību analogijai starp mehāniku un optiku un izmantoja Fermā principu optikā. Hamiltons 1831. gadā ieviesa eikonāla jēdzienu. Eikonāls ir optiskais ceļš starp diviem telpas punktiem. Aberāciju izvērzišanu rindā, balstoties uz eikonāla teoriju, 1905. gadā veica vācu fiziķis un astronoms Karls Švarcšilds (1873 – 1916) savā fundamentālajā darbā “Pētījumi ģeometriskās optikas jomā”. Laikā no 1901. gada līdz 1909. gadam Švarcšilds bija Getingenes universitātes observatorijas, bet laikā no 1909. gada līdz 1912. gadam – Potsdamas observatorijas direktors. Švarcšilds pētīja refraktoru optiskās īpašības un nosprauda ceļu sistemātiskai refraktoru īpašību uzlabošanai. 1907. gadā iznāca Švarcšilda darbs “Par diferenciālām formulām optisko sistēmu aprēķinam”, kur iztirzāta rūpīgi izstrādāta metodika sarežģītu optisku sistēmu aprēķināšanai, pamatojoties uz aberāciju teoriju. Lords Relejs 1908. gadā rakstīja: “Nav domājams, ka Švarcšilda pētījumus varētu uzlabot, runājot par precīzu formulu izvešanu un to izmantošanu noteiktai lēcu kombinācijai.”

Ar refraktoru izgatavošanu nodarbojās savlaik lielākā un kvalitātes ziņā nepārspētā firma "Alvans Klārks un dēli". Alvans Klārks (1804 – 1887) pēc profesijas bija mākslinieks portretists, kurš brīvā laikā sāka nodarboties ar spoguļu un lēcu slīpēšanu. Tā kā lēcas bija labas kvalitātes, Klārks kopā ar dēliem Džordžu un Gremonu sākumā izveidoja nelielu darbnīcu, bet pēc tam labi iekārtotu uzņēmumu, kas bija specializēts teleskopu objektīvu izgatavošanā un pārbaudē. Klārka firmai piederēja labākā tālaika iekārta lēcu slīpēšanai.

1862. gadā Klārka firma uzbūvēja 18 collu (45 cm) refraktoru Dirbonas observatorijai Misisipi štatā, ASV. 1870. gadā ASV federālā valdība pasūtīja Klārka firmai teleskopu jūras kara observatorijai Vašingtonā. Šim refraktoram vajadzēja būt lielākajam un labākajam pasaulē. Paredzētā instrumenta cena bija 50 000 dolāru.

Pēc vairākiem neveiksmīgiem mēģinājumiem firma "Čens un brāļi", kas specializējās augstvērtīga optiskā stikla izgatavošanā, ieguva stikla diskus 26 collu (65 cm) diametrā. 1871. gadā šos diskus nogādāja Kembridžā apstrādei. Bija nepieciešams pusotra gada ilgs laiks to slīpēšanai un pulēšanai. Iegūto lēcu biezums bija apmēram 2,5 collas un to svars sasniedza 45 kg. No šīm lēcām izgatavotais objektīvs maksāja 6000 dolāru.

1873. gadā Vašingtonas observatorijā tika uzstādīts 26 collu teleskops. Ar šo teleskopu Esafs Hols (1829 – 1907) 1877. gadā atklāja Marsa pavadoņus Fobosu un Deimosu. Teleskopa objektīva diametra palielināšana ļauj novērot vājākus objektus. Ja teleskopa objektīva diametrs ir 65 cm, tad ar to var novērot 15. lieluma zvaigznes. Lai atšķirtu 16. lieluma zvaigznes, jāizmanto objektīvs, kura diametrs ir $\sqrt{2,5} \approx 1,6$ reizes lielāks, tātad 100 cm.

1839. gadā Krievijā atklāja Pulkovas observatoriju. Tās direktors Vasilijs Strūve (1793 – 1864) rūpējās, lai tā būtu apgādāta ar tālaika labākajiem instrumentiem. Observatorijai piederēja 15 collu (38 cm, $F = 7$ m) refraktors, kas līdz 1863. gadam bija lielākais pasaulē. Tā kā 15 collu refraktors vairs nevarēja pretendēt uz pirmo vietu pasaulē, tad Pulkovas observatorijas otrs direktors – Vasilija Strūves dēls Oto Strūve (1819 – 1905) – izprasīja no valdības 300 000 rubļu jauna teleskopa iegādei. Konsultējoties ar pazīstamiem astronomiem Džordžu Eri, Saimonu Nūkombu (1835 – 1909) u. c., tika nolemts būvēt 30 collu (75 cm) refraktoru. Lielāka izmēra stikla objektīvi, pēc speciālistu domām, varētu izraisīt lēcu deformācijas smagumspēka iespaidā.

Lēcu izgatavošana tika uzticēta Klārka firmai. Kronstikla diskus apsoliņa sagatavot Čena rūpnīca Birmingemā, bet flintstikla – Feila rūpnīca Francijā. Apstrādājot kronstikla disku Čena rūpnīcā, tajā veidojās plaisa. Otrs kronstikla disks tika izliets Feila rūpnīcā. Taču arī šis stikla disks bija ar defektiem. Vienā vietā bija izveidojušies nelieli gaisa pūšļi. Pārbaude rādīja, ka šie defekti var izraisīt kropļojumus tikai pašu spožāko zvaigžņu novērojumos, radot vājas difrakcijas joslas. Citādi tie neiespaidoja ne attēla asumu, ne arī sistēmas gaismasspēju. Lēcu slīpēšana ilga gandrīz pusotru gadu. Darbu beidzot, ieguva ahromatisku 30 collu objektīvu, kurā lēcas bija novietotas 5 collu lielā attālumā viena no otras. Abu lēcu svars bija apmēram 200 kg.



Oto Strūve (1897 – 1963), Vasilija Strūves mazmazdēls, grāmatas "20. gadsimta astrofizika" autors

1883. gadā objektīvu nogādāja Pulkovā, un 1885. gadā Pulkovas observatorija bija lielākā refraktora īpašniece. Diemžēl Otrā pasaules kara laikā observatorija tika sagrauta. Objektīvs tika izglābts un tagad glabājas observatorijas muzejā.

1897. gadā Klārka firma pabeidza pasaulē lielākā refraktora būvi Jērksa observatorijai, ASV. Līdzekļus teleskopa iegādei ziedoja Čikāgas tramvaju magnāts Čarlzs Jērks (1837 – 1905). Šā refraktora objektīva diametrs ir 40 collu (1 m).

19. gadsimta vidus ir raksturīgs ar strauju fotogrāfiskās optikas attīstību. Ļoti aktuāla bija augstas izšķirtspējas un lielas gaismaspējas fotoobjektīvu aprēķināšana. Līdz 19. gadsimta vidum fotoobjektīvi bija divu lēcu kombinācija. Izvēloties atbilstošu stiklu šķirnes, šajos objektīvos izdevās kompensēt hromatisko aberāciju, taču tiem bija ievērojama sfēriskā aberācija, koma un astigmatisms.

1840. gadā Jozefs Pecvals (1807 – 1891) izveidoja portretu objektīvu ar lielu relatīvo atveri (1:3,2) un koriģētu sfērisko aberāciju, komu un astigmatismu pie apmierinošas hromatiskās aberācijas. Šis objektīva tips pārsniedza sava laika prasības un tika izmantots vairāk nekā 100 gadus. 1865. gadā Hugo Šteinheils (1837 – 1893) izveidoja simetrisku aplanātu, kas pēc gaismaspējas nedaudz atpalika no Pecvala objektīva. 1891. gadā “Karl Zeis” firmas līdzstrādnieks Pauls Rudolfs izveidoja lielas apertūras anastigmatu – objektīvu “Protar”, bet 1892. gadā parādījās simetriskais anastigmats “Dagor”. Tam bija labi koriģēts astigmatisms un maza attēla distorsija.

20. gadsimta sākumā jau bija radīti daudzi fotoobjektīvi, tajā skaitā trislēcu anastigmati – tripleti. 1900. gadā Emīls Hēgs (1865 – 1915) radīja platleņķa objektīvu “Hipergon”, kura redzes lauks bija 135°. 1902. gadā P. Rudolfs izveidoja četrslēcu objektīvu “Tessar” ar relatīvo atveri 1:6,3, kas ieguva popularitāti visā pasaulē. Šim objektīvam bija labi koriģētas aberācijas, un turpmāk lielākā daļa augstas klases fotokameru bija apgādātas ar Rudolfa “Tessar” tipa objektīviem.

Pauls Rudolfs (1858 – 1934) bija ieguvis teicamu izglītību Leipcigas, Minhenes un Jēnas universitātē. Sākumā viņš nodarbojās ar matemātiku un fiziku, bet pēc tam ar praktisko optiku. 1886. gada sākumā Rudolfs iepazinās ar Ernstu Abi, kurš Rudolfam ieteica nodarboties ar objektīvu aprēķiniem firmas “Karl Zeis” vajadzībām. Savā ražīgajā mūžā Rudolfs radījis objektīvu sēriju, kas pēc savām īpašībām nav pārspēti vēl šodien.

Par mikroskopa, kas sastāv no divām lēcām, izgudrotāju parasti uzskata lēcu slīpētāju Hansu Jansenu un viņa dēlu Zahariju. Ir arī zināms, ka šāda veida mikroskopu 1609. – 1610. gadā izveidojis Galilejs. 17. gadsimtā no brillu stikliem, ko izmantoja par objektīva lēcām, pakāpeniski pārgāja uz īsfokusa lēcām. Pirmie būtiskie uzlabojumi mikroskopā tika izdarīti 17. gadsimta 60. gados, kad Huks starp objektīvu un okulāru ievietoja kolektīvo lēcu. Tas ļāva uzlabot attēla kvalitāti un palielināt redzes lauku. Ar šādu mikroskopu varēja iegūt apmēram 100 reižu palielinātus objektu attēlus.



Pauls Rudolfs
(1858 – 1934)

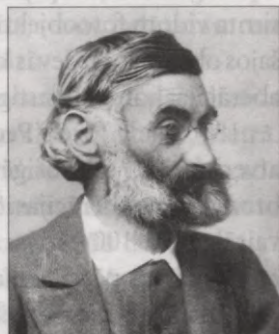
1869. gadā Johans Listings (1808 – 1882) ieteica jaunu mikroskopa konstrukciju, kas, pēc viņa domām, ļautu iegūt vismaz 32 000 reižu palielinātu objekta attēlu. Šajā sakarībā Helmhols 1874. gadā rakstā “Mikroskopu spēju teorētiskā robeža” izvirzīja jautājumu, vai var palielināt mikroskopa palielinājumu, būtiski nekaitējot attēla kvalitātei. Helmhols parādīja, ka pie minētā palielinājuma attēla spožums būs tik mazs, ka acs neko nespēs atšķirt. Helmhols arī norādīja, ka vēl kaitīgāku iespaidu uz attēla kvalitāti atstās difrakcija, kas nosaka lietderīgā palielinājuma robežu. Mikroskopa izšķirtspējas teoriju izstrādāja Abe, un tā tikusi izklāstīta Jēnas universitātē lekciju kursā 1888. gadā.

Jau kopš Keplera un Dekarta laikiem valdīja uzskats, ka ideāli izgatavotai optiskai sistēmai ir bezgalīgi liela izšķirtspēja, t. i., ar šādu sistēmu var ieraudzīt patvaļīgi mazu objekta detaļu. Vācu fiziķis optiķis Ernsts Abe (1840 – 1905) izstrādāja mikroskopa teoriju un pierādīja, ka optisko attēlu iegūst divos etapos. Pirmajā etapā iegūst Fraunhofera difrakcijas ainu objektīva fokālajā plaknē, bet otrajā etapā no difragētajiem stariem veidojas attēls saistītajā plaknē. Fokālajā plaknē ar speciāliem telpas filtriem var iedarboties uz difrakcijas ainu (veikt telpisko filtrēšanu, kas ir viens no Furjē optikas pamatprincipiem) un izdarīt pārveidojumus attēlā.

Pēc Abes uzskatiem, mikroskopa iespējas nosaka trīs faktori: palielinājums, attēla ģeometriskā kvalitāte un objektīva skaitliskā apertūra. Palielinājumu izskaitļo pēc ģeometriskās optikas likumībām un palielinājumam jābūt tādām, lai acs varētu saskatīt detaļas, kuras nebūtu atšķiramas mazākā palielinājumā. Attēla ģeometriskā kvalitāti nosaka objektīva aberāciju novēršanas pakāpe, kā arī detaļu izgatavošanas un justēšanas precizitāte. Izšķirtspēja atkarīga no skaitliskās apertūras: $d = 0,5\lambda/A$, kur $A = n \sin u/2$, n – laušanas koeficients videi, kas aizpilda telpu starp objektu un objektīvu, u – apertūras leņķis. 1878. gadā Abe uzbūvēja pirmo moderno optisko mikroskopu. Viens no svarīgākajiem Abes izgudrojumiem ir apohromatiskie objektīvi, kuri ar ūdens imersiju sasniedza skaitlisko apertūru 1,25 (1886. g.).

Zināmi panākumi bija arī projekcijas aparātu izveidē. Pirmās šāda veida ierīces bija “maģiskās laternas”. “Maģiskā laterna” bija parasta lampa, uz kuras aizsargstikla uzzīmēja dažādas figūras vai ainas. Daudzus Ēģiptes priesteru “brīnumdarbus” tagad var izskaidrot ar “maģiskās laternas” izmantošanu.

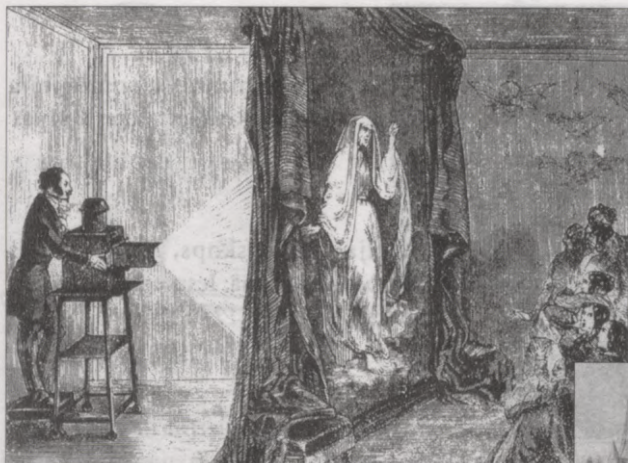
18. gadsimtā vēl bija sastopami klejojoši mākslinieki, kuri publikai demonstrēja dažādus, arī šausminošus, skatus. Starp šiem māksliniekiem sevišķi izcēlās beļģis E. Roberts, kas bija iesaukts par Robertsonu. Robertsona aparātam –



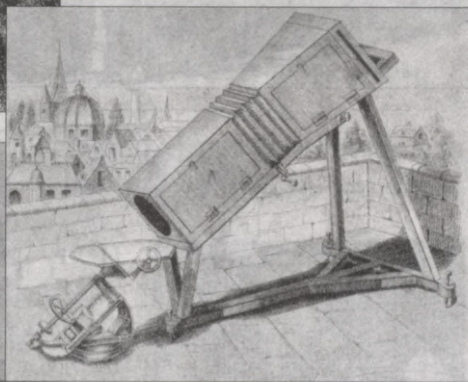
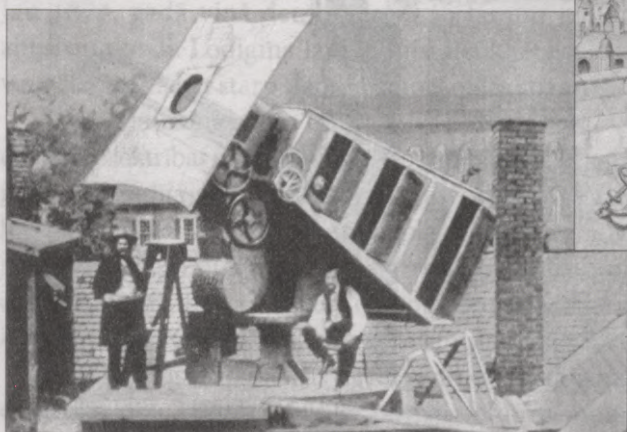
Ernsts Abe
(1840 – 1905)



“Maģiskā laterna” bija parasta lampa, uz kuras aizsargstikla uzzīmēja dažādas ainas



Vēl 18. gadsimtā bija klejojoši mākslinieki, kuri pārsteidza skatītājus ar šausminošiem skatiem

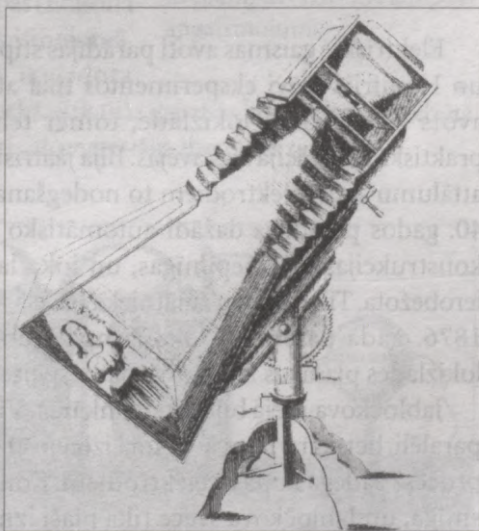


Saules aparāti bija iespaidīga izmēra, un to apkalpošana bija visai sarežģīta. Lai aparāta izmantošana būtu ērtāka, tam pierīkoja heliostatu (1866. gads)

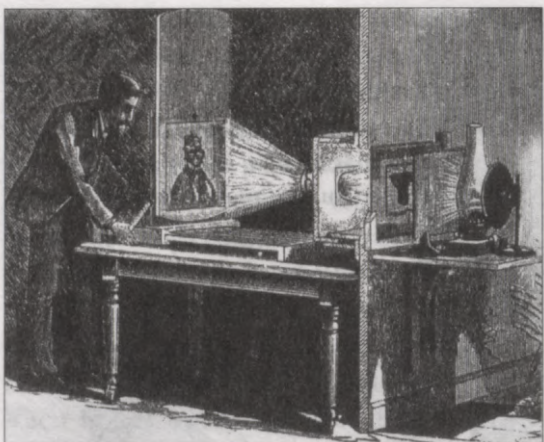
fantaskopam – bija speciāla ierīce, kas ļāva regulēt attēla lielumu un asumu, tādējādi radīt ilūziju, ka tēls tuvojas skatītājam.

Uz megaskopu bāzes radās aparāti, ar kuriem varēja palielināt zīmētus un fotogrāfiskus attēlus, izmantojot Saules gaismu. Saules aparāti bija iespaidīga izmēra, un to apkalpošana bija visai sarežģīta. Lai aparāta izmantošana būtu ērtāka, tiem pierīkoja heliostatu. Ar laiku iekārtas kļuva mazākas.

Tā kā Saules gaisma ne vienmēr bija pieejama, tad lietoja arī petrolejas lampas. Petroleju apgaismošanai sāka izmantot 1885. gadā. Taču tad petroleja vēl bija slikti attīrīta un bieži izraisīja eksplozijas. Bija izveidoti arī aparāti ar gāzes degļa un magnija gaismas avotiem.

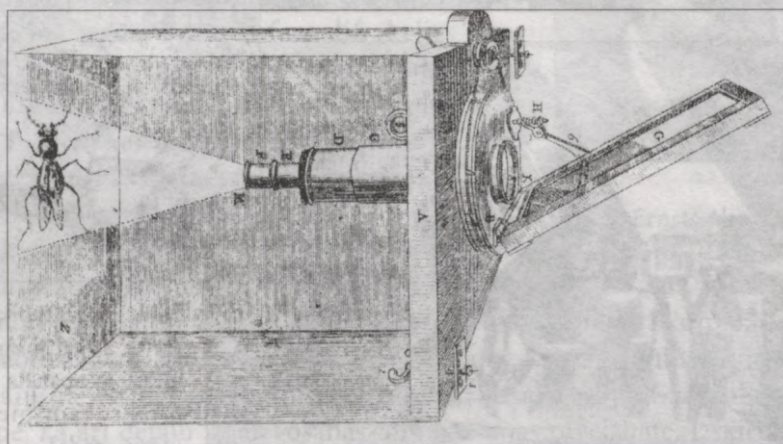


Ar laiku attēlu palielināmās iekārtas kļuva mazākas. Gaismu savāca pret Sauli vērstš kondensors



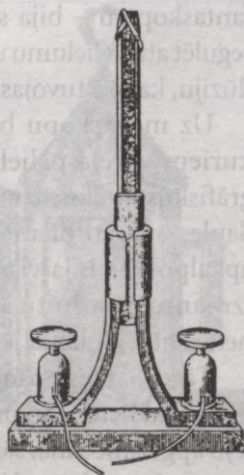
Tā kā Saules gaisma ne vienmēr bija pieejama, tad lietoja arī petrolejas lampas

Projekcijas mikroskops, kas darbojas Saules apgaismojumā. Iesniegts Londonas Karaliskajā biedrībā 1740. gadā

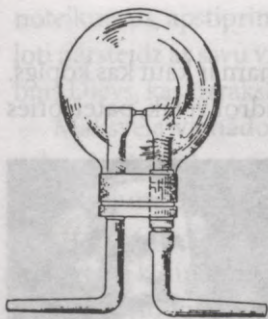


Elektriskie gaismas avoti parādījās stipri vēlāk. Vasilija Petrova un Hamfrija Dēvi eksperimentos tika atklāts intensīvs gaismas avots – elektriskā lokizlāde, tomēr tehnisku grūtību dēļ tās praktiskā realizācija aizkavējās. Bija jāatrisina jautājums, kā regulēt attālumu starp elektrodiem to nodegšanas procesā. 19. gadsimta 40. gados parādījās dažādi automātisko regulatoru projekti. To konstrukcijas bija nepilnīgas, un loka lampu izmantošana bija ierobežota. Tikai krievu zinātnieka Pāvela Jabločkova (1847–1894) 1876. gadā patentētā loka lampa (Jabločkova svece) pavēra lokizlādes plašākas izmantošanas iespējas.

Jabločkova ideja bija ļoti vienkārša. Viņš elektrodus novietoja paralēli, bet starp tiem ievietoja izolējošu starpliku, kura darbības procesā sadega kopā ar elektrodiem. Konstrukcija izrādījās veiksmīga, un Jabločkova svece tika plaši izmantota. Taču 80. gados Jabločkova sveci sāka aizstāt kvēllampa.



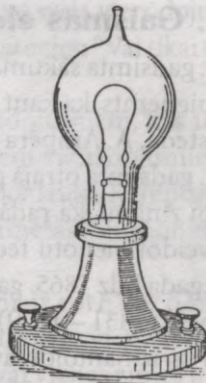
Jabločkova svece



Lodigina lampa



Tomass Alva Edisons
(1847 – 1931)



Edisona lampa

Pirmās praktiskiem nolūkiem izmantojamas kvēllampas izveidoja krievu izgudrotājs Aleksandrs Lodigins (1847 – 1923).

Jau 1873. gadā viņš demonstrēja šo lampu izmantošanu vienas Pēterburgas ielas apgaismošanai. Lodigina lampa bija atsūknēts stikla balons, kurā iekausēti divi masīvi vara elektrodi, bet starp tiem ievietots ogles stienītis.

Amerikāņu izgudrotājs Tomass Alva Edisons (1847 – 1931) arī pētīja elektrības izmantošanas iespējas apgaismošanā. 1879. gadā viņš radīja savu kvēllampas konstrukciju. Tā izrādījās ļoti veiksmīga un drīz iekaroja plašu popularitāti. Šim jaunievedumam bija milzīga nozīme ne tikai telpu un ielu apgaismošanā, bet arī zinātniski pētnieciskās aparatūras izveidē, piemēram mikroskopu apgaismošanas sistēmās.

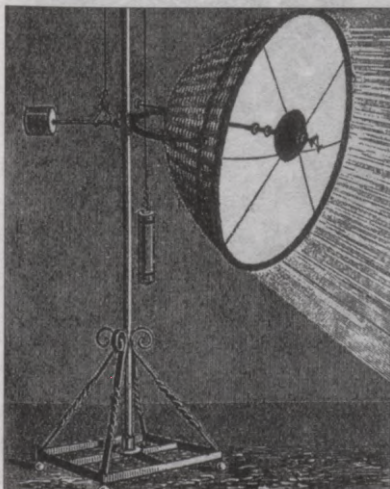
Tikai 1879. gadā parādījās pirmie reflektori, kur izmantoja elektrisko loku. 1880. gadā veikts pirmais fotouzņēmums, kur redzams Edisona līdzstrādnieks elektriskās kvēllampas (Edisona lampas) apgaismojumā.



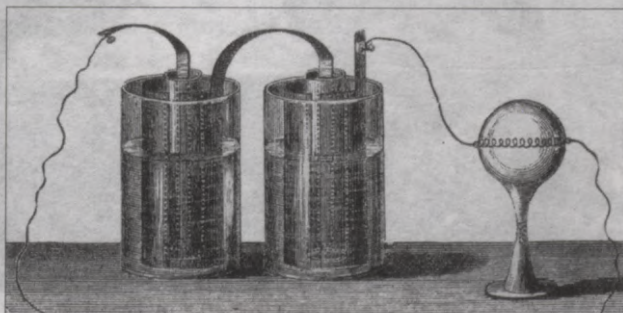
1880. gadā izdarīts pirmais fotouzņēmums elektriskās kvēllampas (Edisona lampas) apgaismojumā

1883. gadā izveidota

pirmā elektriskā sarkanās gaismas lampa, kas paredzēta izmantošanai fotomateriālu apstrādes procesā.



Reflektoros izmantoja elektrisko loku vai arī Edisona lampas



Pirmā elektriskā sarkanās gaismas lampa, ko 1883. gadā izmantoja par gaismas avotu fotomateriālu apstrādē

2. 8. Gaismas elektromagnētiskā teorija

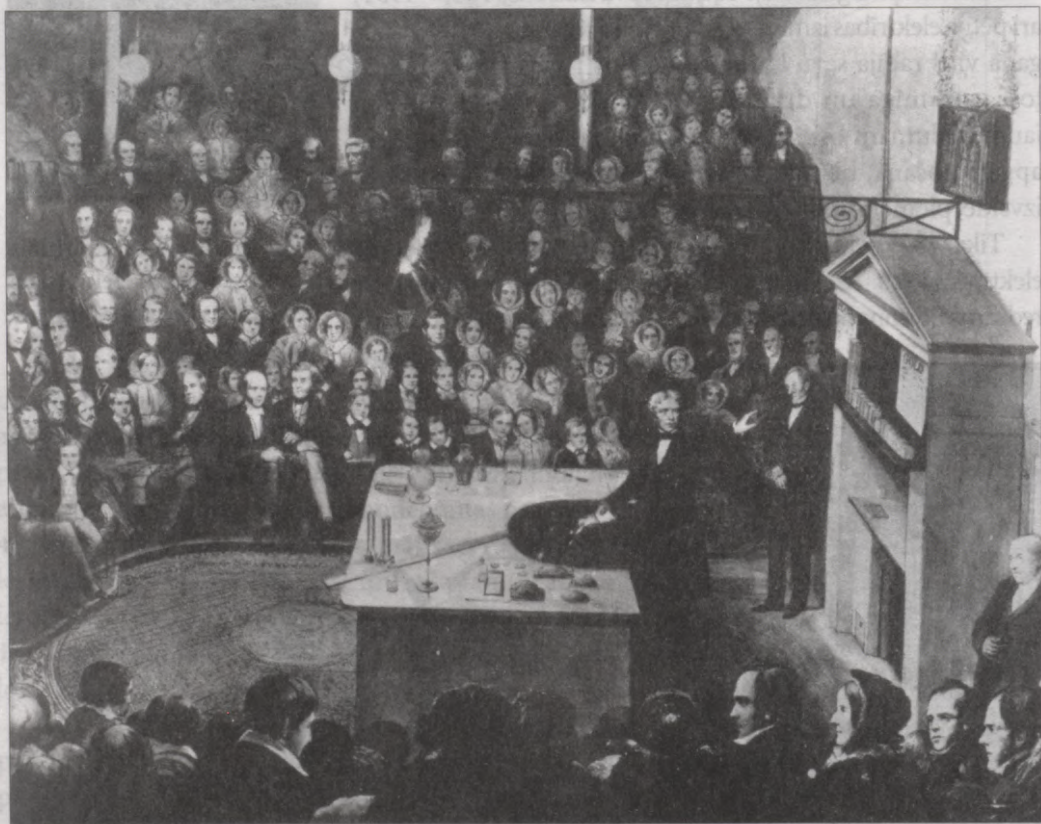
19. gadsimta sākumā nebija zināms, ka elektrībai un magnētismam ir kaut kas kopīgs. Tika pieņemts, ka kaut kāda sakarība pastāy, bet to izdevās noskaidrot vēlāk, pateicoties H. Ersteda, A. Ampēra un M. Faradeja eksperimentiem.

19. gadsimta otrajā pusē elektrisko parādību likumi bija jau tik labi zināmi, ka radās iespēja šo milzīgo materiālu apkopot un izveidot vienotu teoriju. Šo apjomīgo uzdevumu laikā no 1860. gada līdz 1865. gadam veica angļu fiziķis Džeimss Klārks Maksvels (1831 – 1879). Vadoties no savu priekšgājēju atklājumiem un izmantojot savu talantu, Maksvels spēja izveidot elektromagnētisko parādību teoriju. Visu parādību daudzveidību, visu likumu kopumu, kuriem šīs parādības pakļaujas, Maksvelam izdevās apvienot vienā vienādojumu sistēmā.

Viņa vienādojumi apraksta visas elektrodinamikas makroskopiskās parādības. No tiem var atvasināt visus likumus un



Džeimss Maksvels
(1831 – 1879)



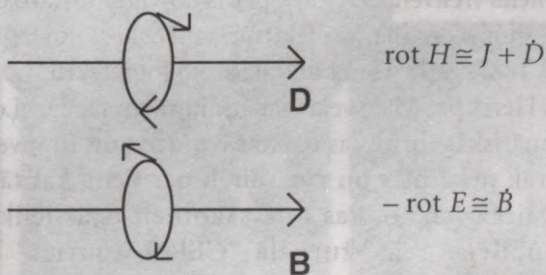
Maikls Faradejs uzstājas ar publisku lekciju Londonas Karaliskajā institūtā sakarā ar elektromagnētiskās indukcijas atklāšanu

noteikumus, apstiprinot jau zināmo un paredzot vēl nezināmo. Maksvela vienādojumi tik ļoti pārsteidz ar savu vienkāršību, ka pat Ludvigs Bolcmanis esot izsaucies: "Vai tikai tas nav bijis Dievs, kas uzrakstījis šīs zīmes?"

Maksvela vienādojumi sastāv no diviem vektoriāliem vienādojumiem, kas ir ekvivalenti sešiem komponentu vienādojumiem un diviem skalāriem vienādojumiem. Šie vienādojumi savā starpā saista ne tikai elektriskā un magnētiskā lauka komponentes, elektriskās un magnētiskās indukcijas komponentes, bet arī minētās komponentes ar elektriskā lādiņa un strāvas blīvumu.

Viens no vienādojumiem mūsdienīgā vektoriālā traktējumā ir $\text{rot} E \equiv -\delta B/\delta t$, un tas izsaka indukcijas likumu, ko atklāja Faradejs. Viens no skalārajiem vienādojumiem $\text{div} B = 0$ atspoguļo neiespējamību atdalīt magnētiskos lādiņus vai vienas zīmes magnētiskos polus. Otrs vienādojums formulē Gausa elektrostatisko teorēmu: $\text{div} D = 4\pi\rho$. Šie vienādojumi ir jau zināmo likumu vispārinājums. Otrs vektoriālais vienādojums satur būtiski jaunu elementu, ko teorijā ieviesa Maksvels.

Otram vektoriālajam vienādojumam jāatspoguļo sakarība starp magnētisko lauku un elektrisko strāvu saskaņā ar Ampēra likumu. Atbilstoši šim likumam rotoram no magnētiskā lauka intensitātes vektora jābūt vienādam ar elektriskās strāvas blīvumu. Maksvels ievēroja, ka, izmantojot strāvas blīvumu, kas saistīts tikai ar lādiņu pārnesei, rodas virkne grūtību. Lai no šīm grūtībām izvairītos, viņš vispārināja strāvas blīvuma jēdzienu, pievienojot vadāmības strāvai vēl arī pārbīdes strāvu. Pārbīdes strāvu izsaka ar elektriskās indukcijas vektora izmaiņas ātrumu laikā. Tad otro vektoriālo vienādojumu var uzrakstīt šādā formā: $\text{rot} H \equiv j + \delta D/\delta t$. Strāva nav obligāti saistīta ar lādiņu pārvietojumu. Definējot pārbīdes strāvu, visas strāvas ķēdē kļūst noslēgtas.



Elektriskais un magnētiskais lauks saistīti viens ar otru tādā veidā, ka pietiek rasties vienam no tiem, lai tūlīt rastos otrs lauks

Maksvela visģeniālākā ideja radās pēc elektromagnētisko parādību vienādojumu uzrakstīšanas. Šie vienādojumi dod iespēju gaismu aplūkot kā elektromagnētisku perturbāciju. Viņš paredzēja, ka telpā var pastāvēt elektromagnētiskie viļņi, kas izplatās ar gaismas ātrumu, un uzskatīja, ka gaisma ir viens no elektromagnētiskā starojuma veidiem. 1860. gadā Maksvels atklāja saistību starp vides elektriskajiem, magnētiskajiem un optiskajiem parametriem: $c/v = (\epsilon\mu)^{1/2} = n$, kur v – gaismas ātrums vielā, ϵ un μ – elektriskā un magnētiskā caurlaidība. Pēc Maksvela teorijas, elektriskā un magnētiskā

caurlaidība nav atkarīga no viļņu garuma. Tā neizskaidro dispersiju. Maksvela teorija ļāva teorētiski izskaitļot gaismas spiedienu, un tas notika 1878. gadā.

Pēc laikabiedru liecībām, Maksvels bijis ne tikai izcils zinātnieks, bet arī lielisks cilvēks. Maksvelam piemitušas augstas morālas īpašības, kuras tas nezaudēja pat savas dzīves kritiskajos brīžos. Maksvels mira ar vēzi 48 gadu vecumā. Viņa ārsts doktors Pagets Kembridžā rakstīja: "Slimības laikā aci pret aci ar nāvi viņš palika tāds pats, kāds bija agrāk. Dvēseles miers viņu nekad nepameta. Dažas dienas pēc atgriešanās Kembridžā viņa ciešanas ieguva ļoti asu raksturu. Taču viņš nekad nežēlojās. Pat nāves tuvums neatņēma viņam pašsavaldišanos. Dažas dienas pirms nāves viņš man prasīja, cik ilgi viņam vēl atlicis dzīvot. Šķita, viņš satraucās tikai par savu sievu, kuras veselība dažus pēdējos gadus pasliktinājās. Viņa prāts palika skaidrs līdz beigām... Neviens no maniem daudzajiem pacientiem nav tik skaidri apzinājies savu nolemtību un nav sagaidījis nāvi tik mierīgi. 5. novembrī viņš klusi aizgāja." Maksvela ārsts Skotijā Dž. Loreins rakstīja Pagetam: "... Man jāsaka, ka viņš bija viens no labākajiem cilvēkiem, ar kuriem man nācies sastapties, .. viņa morālais tēls kā cilvēkam, cik es varu spriest, bija pilnīgs džentlmeņa piemērs.. un tas laikam gan daudz vērtīgāks par visiem viņa zinātniskajiem sasniegumiem."

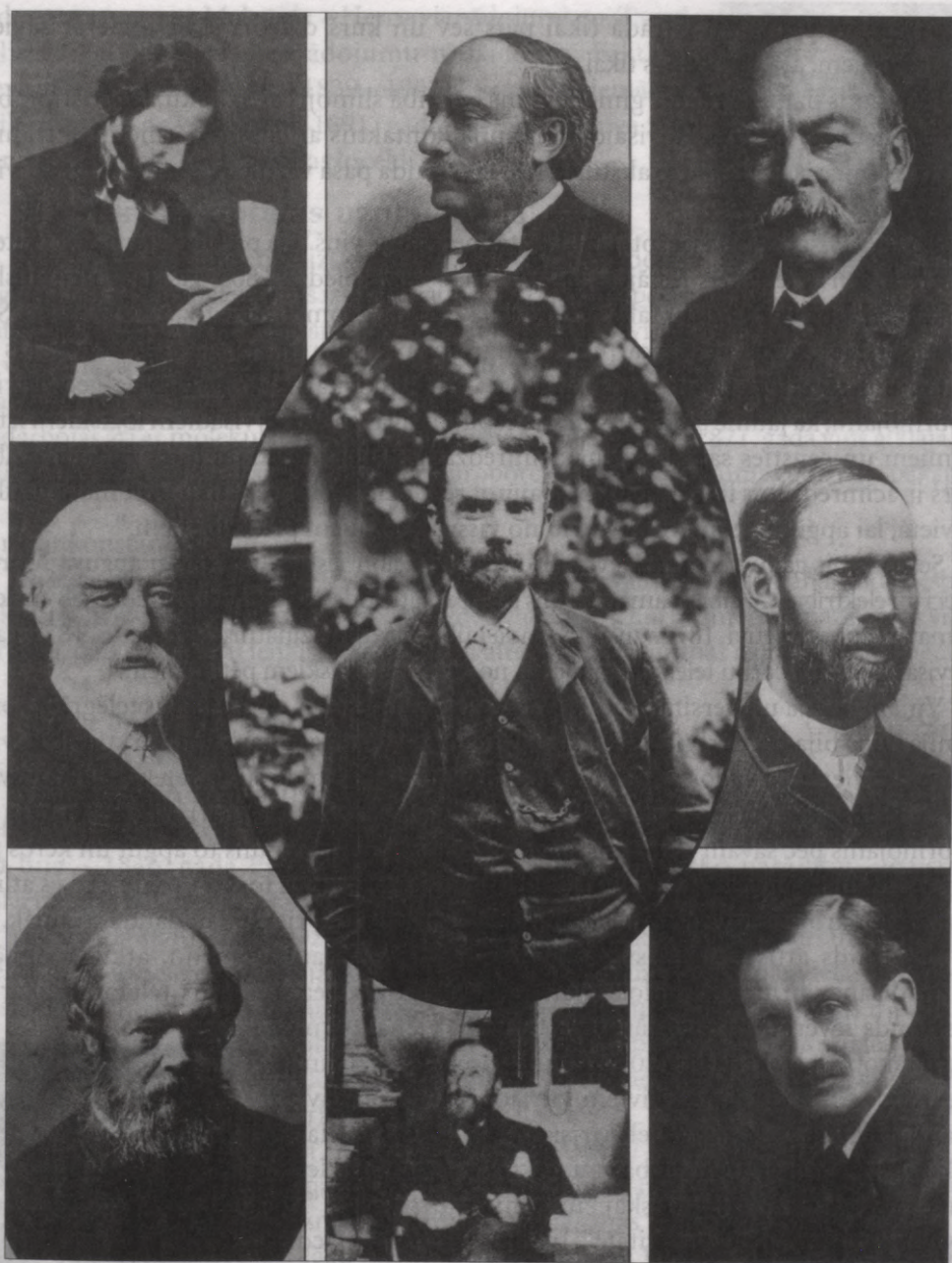
Maksvela vienādojumus mūsdienīgā formā uzrakstīja vācu fiziķis Heinrihs Hercs (1857 – 1894) un angļu fiziķis Oliveris Hevisajds (1850 – 1925), bet Maksvela secinājumus par elektromagnētisko viļņu eksistenci vakuumā un par gaismu kā elektromagnētisko viļņu speciālgadījumu 1888. gadā apstiprināja Herca eksperimenti, kas veicināja Maksvela teorijas atzīšanu. Izmantojot dzirksteļizlādi starp iezemētu un uzlādētu lodīti, Hercs eksperimentāli ieguva Maksvela paredzētos elektromagnētiskos viļņus rajonā no 10 līdz 100 m. Mūsdienās, izmantojot elektroniskas ierosināšanas metodes, var iegūt elektromagnētiskos viļņus līdz pat 10^{12} Hz lielai frekvencei. Hercs pētīja šo viļņu atstarošanu, laušanu, interferenci un polarizāciju. Viņš pierādīja, ka elektromagnētiskie viļņi izplatās ar gaismas ātrumu. Gadu iepriekš, t. i., 1887. gadā, Hercs atklāja ārējo fotoefektu.

Heinrihs Hercs par Maksvela vienādojumiem sacīja: "Ļoti grūti atbrīvoties no domas, ka tās matemātiskās formulas dzīvo savu dzīvi un ir apveltītas ar savu tīru saprātu, ka tās zina vairāk nekā mēs un pat vairāk par tiem, kas tās atklāja, un ka mēs no tām izvilinām vairāk par to, kas bija sākotnēji tajās ielikts." Maksvela jubilejas reizē žurnālā "CERN Courier" bija ievietots apsveikums: "Un Dievs sacīja: $\operatorname{div}E = 4\pi\rho$, $\operatorname{div}H = 0$, $\operatorname{rot}E = -1/c \delta H/\delta t$, $\operatorname{rot}H = \delta E/\delta t + 4\pi j/c$, un tapa gaisma."

Oliveram Hevisajdam sava laika zinātnieku starpā bija liela autoritāte. Tagad viņa vārds ir nepelnīti aizmirsts. Pēc Pola Nahina domām, to daļēji var skaidrot šādi. Hevisajda ieteiktās metodes izrādījās tik efektīgas, ka mācību grāmatu autori tās sāka izmantot fundamentālu teoriju skaidrošanai. Daudzi domā, ka jau Ņūtons divus gadsimtus agrāk izmantojis vektorus, lai aprakstītu spēkus. Patiesībā vektorus fizikā pirmais izmantoja Hevisajds. Nahins par Hevisajdu saka: "Oliveris Hevisajds bija oriģināls par oriģinālu, viņš bija cilvēks, kurš par savām



Oliveris Hevisajds
(1850 – 1925)



Attēls no žurnāla "Scientific American" (1990.06., 81. lpp.). Centrā: Olivera Hevisaids, viņa ideju atbalstītāji, sākot no kreisā vidējā attēla: Olivera Žozefs Lodžs, lords Kelvins, lords Relejs, Džons Henrijs Pointings un Heinrihs Hercs. Apakšējā rindā izvietotas Hevisaida nedraugu, kurus viņš ieguva savu aso izteikumu dēļ, fotogrāfijas. No kreisās puses: skotu fiziķis Pīters Teits (kvaternionu matemātikas, kas konkurēja ar vektorrēķiniem, aizstāvis), Viljams Pirs (Lielbritānijas Galvenās pastu pārvaldes tehniskais eksperts), Viljams Bernsaids (žurnāla "Proceedings of the Royal Society" recenzents), kurš nepieņēma publicēšanai rakstus par Hevisaida izstrādātajiem un ieteiktajiem operatorrēķiniem stingru pierādījumu trūkuma dēļ

sekmēm bija pateicību parādā tikai pats sev un kurš dzīvoja savā zemē ar saviem sasniedzumiem, arī pateicoties tikai sev.”

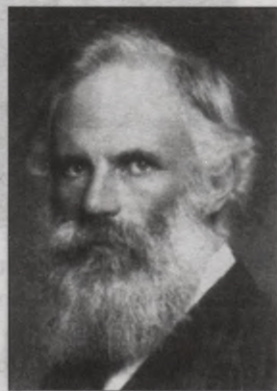
Hevisajds dzimis trūcīgā ģimenē. Viņš bērnībā slimojis ar šarlaku, tāpēc stipri bija cietusi viņa dzirde. Tas Hevisajdam laupīja kontaktus ar citiem bērniem. Šī trauma stipri iespaidoja Hevisajda raksturu. Pēc Hevisajda paša vārdiem, tā “deformēja” viņa dzīvi uz visu mūžu.

Skolā Hevisajds mācījās ļoti labi. Pēc tās beigšanas viņš bija piektais starp 500 pretendentiem, kuri piedalījās iestājekāmeņu kārtošanā koledžā 1865. gadā. Matemātiskās fizikas nākamā korifeja sliktākā atzīme bija Eiklīda ģeometrijā – tikai 15% balle. Šeit izpaudās Hevisajda nepatika pret “stingriem pierādījumiem”. Vēlāk Hevisajds šo jautājumu raksturoja šādi. Viņš rakstīja: “Pats sliktākais – tā ir Eiklīda ģeometrija. Apbrīnojami, ka jaunie ļaudis ir spiesti piepildīt savas galvas ar visādiem loģiskiem izteikumiem un censties saprast viena acīmredzama fakta pierādījumu ar cita palīdzību, kurš ir acīmredzams līdzīgā pakāpē, sajūtot sevī dzimstošu nepatiku pret matemātiku, tā vietā, lai apgūtu ģeometriju, vienu no vissvarīgākajiem priekšmetiem.”

Sešpadsmit gadu vecumā Hevisajds atstāja mācību iestādi, patstāvīgi apguva Morzes ābeci un elektrības mācības pamatus. Viņš pastiprināti nodarbojās ar pašizglītību, galvenokārt ar matemātikas apguvi. 1872. un 1873. gadā publicēja divus zinātniskus rakstus. 1874. gadā Hevisajds atstāja darbu telekompānijā un nodevās zinātniskiem pētījumiem.

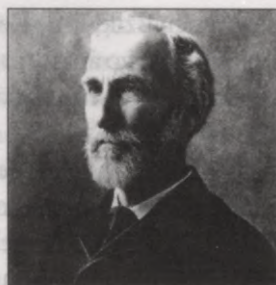
Viņam nebija universitātes izglītības, un, izņemot sešus darba gadus telegrāfa kompānijā, viņš bija bezdarbnieks. Tikai pateicoties savam talantam un mērķtiecībai, viņš kļuva par vienu no vadošajiem sava laika fiziķiem. Hevisajdu stipri ietekmēja Maksvela darbi. 1918. gadā viņš rakstīja: “Es atklāju, ka tai (Maksvela teorijai) ir izcils, milzīgs un apbrīnojams pēc savām iespējām spēks. Es biju apņēmības pilns to apgūt un ķēros pie darba.. Man bija nepieciešami daži gadi, pirms es sasniedzu to, ko varēju. Tad es atliku Maksvela darbu sāņus un gāju savu ceļu. Un virzījies uz priekšu jau daudz straujāk.”

Hevisajds attīstīja Maksvela elektromagnētiskā lauka teoriju, atklāja signālu pārraidīšanas principus lielos attālumos, kas atļāva realizēt tālus telefona sakarus. Hevisajds ievērojami vienkāršoja Maksvela vienādojumus, kuru sākotnējais skaits bija 20 un kuri saturēja 20 nezināmos. Hevisajds tos reducēja uz diviem vienādojumiem ar diviem mainīgiem, kas aprakstīja elektriskā un magnētiskā lauka vektorus. Liela daļa no šā darba tika veikta vienlaikus ar Hercu, kurš savā darbā par elektriskajiem viļņiem uzsver, ka “Hevisajda kungam pieder prioritāte”. Īru fiziķis Džordžs Ficdžeralds (1851 – 1901) rakstīja: “Maksvela traktāts izraibināts spīdoši izraudzītām uzbrukuma robežām, nometņu ierakumiem un cīņu pēdām. Oliver Hevisajds to attīrīja no tā visa, izvēlējās taisnu maršrutu, izveidoja platu ceļu un arī apsekoja lielu daļu no neapgūtā rajona.” Kādu laiku elektrodinamikas vienādojumus jaunajā saīsinātajā pieraksta formā dēvēja par Herca – Hevisajda vienādojumiem. Einšteins savos jaunības



Džordžs Ficdžeralds
(1851 – 1901)

gados tos sauca par Maksvela – Herca vienādojumiem. Tagad palicis tikai Maksvela vienādojumu nosaukums. Faktiski Hevisajds un Džosija Gibss (1839 – 1903) bija tie, kas iemācīja fiziķus operēt ar vektoriem. 1891. gadā Hevisajds kļuva par Londonas Karaliskās biedrības locekli.



Džozaija Gibss
(1839 – 1903)

2. 9. Fizikālās optikas uzplaukums

Ar optisko instrumentu izšķirtspējas teoriju nodarbojās angļu fiziķis Džons Relejs, kurš izstrādāja t. s. Releja izšķirtspējas kritēriju: divus punktveida gaismas avotus var novērot atsevišķi, ja virzienā, kurā novēro viena avota centrālo difrakcijas maksimumu, veidojas otra avota pirmais minimums. Relejs nodarbojās arī ar molekulārās gaismas izkliedes teorijas izveidi. 1871. gadā viņš atklāja, ka izkļiedētās gaismas intensitāte ir apgriezti proporcionāla viļņa garuma ceturtajai pakāpei:

$$I(\lambda)/I_0 = C(1 + \cos^2\varphi) \cdot \lambda^{-4},$$

kur C ir konstante.

No šejienes izriet, ka violetā gaisma izkļiedējas 10 reizu vairāk nekā sarkanā. Radās iespēja izskaidrot, kāpēc debesis ir zilā krāsā. Izkļiede uz daļiņām, kuru izmēri ir mazāki par viļņu garumu, dod simetrisku leņķisko sadalījumu attiecībā pret gaismas izplatīšanās virzienu:

$$I(\varphi) = I(90^\circ) \cdot (1 + \cos^2\varphi).$$

Izkļiede uz priekšu ir tāda pati kā pretējā virzienā.

1904. gadā Relejs saņēma Nobela prēmiju.

Gaismas elektromagnētiskā teorija, kuru izstrādāja Maksvels, rosināja domāt, ka optiskās parādības var mainīties elektriskā un magnētiskā lauka iespaidā. Precedents jau bija – 1846. gadā Faradejs atklāja pirmo magnētoptisko parādību – gaismas polarizācijas plaknes griešanu magnētiskajā laukā.

1875. gadā skotu fiziķis Džons Kerrs (1824 – 1907) atklāja dubultlaušanu izotropās vielās, ja tās ievieto elektriskajā laukā (Kerra efekts). Daudzas izotropas vielas, ievietotas pastāvīgā elektriskajā laukā, kļūst līdzīgas vienas kristāliem, kuru optiskā ass ir paralēla pieliktajam elektriskajam laukam. Kerrs šo parādību vispirms novēroja stiklā.

Fāzu starpība starp ordināro un neordināro staru, kas iziet cauri vielas slānim l , ir kvadrātiski atkarīga no elektriskā lauka intensitātes:

$$\varphi = (2\pi/\lambda) \cdot l \cdot (n_e - n_o) = 2\pi k \cdot l \cdot E^2,$$

kur K – Kerra konstante (tā palielinās mazākiem viļņa garumiem). Vairākumam vielu $n_e > n_o$. Kerra efektu plaši izmanto ātrdarbības gaismas slēdžos un modulatoros. To inerce ir 10^{-12} s. Lai iegūtu fāzu starpību $\varphi = \pi/2$ 5 cm biežam nitrobenzola slānim, nepieciešama elektriskā lauka intensitāte $E = 15\,000$ V/cm.

Citu elektrooptisku efektu 1894. gadā atklāja vācu fiziķis Frīdrihs Pokels (1865 – 1913). Viņš novēroja kristālu laušanas koeficienta lineāras izmaiņas elektriskajā laukā. Efekts ir manāms stipros laukos (10 – 100 kV). Mūsdienās Pokela efektu izmanto gaismas modulatoros lāzeriekārtās. Mazās inerces dēļ tie var modulēt ar frekvenci ap 10^{13} Hz. Parasti šajās iekārtās izmanto LiNbO_3 , LiTaO_3 u. c. kristālus.

Franču fiziķi Eme Kotons (1869 – 1951) un A. Mutons 1907. gadā atklāja, ka izotropās vielās mākslīgo anizotropiju var izraisīt ar stipru magnētisko lauku. Viņi novēroja dubultlaušanu, ja gaisma izplatās perpendikulāri magnētiskajam laukam (Kotona – Mutona efekts).

Kotona – Mutona efekts ir analogisks Kerra efektam. Ja vides molekulas ir anizotropas un tām ir pastāvīgi magnētiskie momenti, pēdējos pastāvīgā magnētiskā laukā var orientēt noteiktā virzienā. Pietiekami spēcīgos magnētiskajos laukos veidojas anizotropija un ar to saistītā dubultlaušana. Šāda vide ir līdzīga vienam kristālam, kam optiskā ass ir orientēta paralēli magnētiskajam laukam. Ordinārā un neordinārā stara fāzu starpība ir:

$$\Delta\varphi = (2\pi/\lambda) \cdot l \cdot (n_e - n_o) = 2\pi C \cdot l \cdot B^2,$$

kur C – konstante, kas atkarīga no vides īpašībām. Piemēram, nitrobenzolā, ja magnētiskais lauks $B = 20\,000$ Gs, slāņa biezums $l = 10$ cm, $\Delta\varphi = 3,2^\circ$.

Optiska anizotropija izotropās cietās vielās (polimēros) var rasties arī mehānisku spraigumu iespaidā. Šo parādību sauc par fotoelastību, un to neatkarīgi viens no otra 1813. gadā atklāja vācu fiziķis Tomass Zēbeks (1770 – 1831) un 1816. gadā Deivids Brūsters (1781 – 1868). Fotoelastību izmanto spraigumu sadalījuma pētījumiem konstrukcijās, kur to izskaitļošana ir sarežģīta.

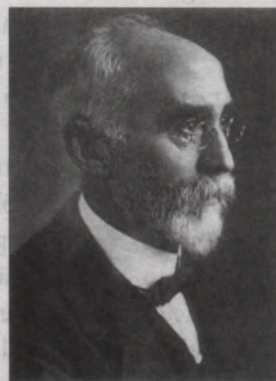
1888. gadā ārējo fotoefektu neatkarīgi no itāļu fiziķa Augusta Rigi (1850 – 1921) un vācu fiziķa Vilhelma Halvaksas (1859 – 1922) pētīja krievu fiziķis Aleksandrs Stoļetovs. Viņš izveidoja arī pirmo fotoelementu.

1890. gadā vācu fiziķis Oto Vīners (1862 – 1927) eksperimentēja ar gaismas stāvviļņiem un novēroja fotoemulsijas nomelnojumu elektriskā lauka blīvuma vietās. Arī citi turpmākie eksperimenti pierādīja, ka optiskajās parādībās galvenā loma ir elektromagnētiskā viļņa elektriskajam vektoram. 1892. gadā Pauls Drūde (1863 – 1906) un Valters Nernsts (1864 – 1941) atkārtoja Vīnera eksperimentu, nomainot fotoemulsiju ar plānu luminofora slāni, bet H. E. Aivss to pašu paveica 1933. gadā, izmantojot fotoefektu.

1891. gadā franču fiziķis Gabriels Lipmanis (1845 – 1921) izstrādāja krāsu fotogrāfijas metodi, kas pamatojās uz gaismas interferenci. Zinātnieks ieguva pirmo krāsaino Saules spektra fotogrāfiju. 1908. gadā Lipmanis saņēma Nobela prēmiju.

Maksvela teorijā vielu raksturoja ar fenomenoloģiskām konstantēm: dielektrisko un magnētisko caurlaidību, kā arī ar īpatnējo elektrovadītspēju. Šīs teorijas tālākās attīstības svarīgs etaps bija atomāro priekšstatu ieviešana.

Nīderlandes fiziķis Hendriks Lorencs (1853 – 1928), tāpat kā Maksvels, atzina ēteru – ideālu bezgalīgu vidi, kurā gaisma izplatās ar noteiktu ātrumu. Pēc Maksvela teorijas, gaisma ir elektromagnētiskas perturbācijas. Lai izskaidrotu šo perturbāciju avotu, ir jāpostulē atoma izmēra augstas frekvences elektriski vibratori. Šādu vibratoru teoriju laika periodā no 1880. gada līdz 1909. gadam attīstīja Hendriks Lorencs. Lorencas teorijā makroskopiskās konstantes tika skaidrotas no



Hendriks Lorencs
(1853 – 1928)

atomistiska viedokļa. Viņš mācībā par elektrību ieviesa diskrētu lādiņu ideju. Pēc Lorenca teorijas, molekulas satur mazas negatīvi lādētas daļiņas, kas atrodas līdzsvarā. Izvirzot tās no līdzsvara, rodas svārstības, kuras ģenerē elektromagnētisko lauku. Uz šīs teorijas bāzes Lorencs izskaidroja dispersiju kā krītošo viļņu un sekundāro viļņu interferenci un dielektriskās caurlaidības atkarību no viļņu garuma. Pēc būtības varēja izskaidrot arī Kerra, Zēmaņa, Faradeja, Kotona – Mutona efektu, gaismas molekulāro izkliedi un daudzas citas parādības.

1880. gadā dāņu fiziķis Ludvigs Lorencs (1829 – 1891) neatkarīgi no Hendrika Lorenca ieguva formulu, kas vielas laušanas koeficientu n saista ar atomu, molekulu vai jonu elektrisko polarizējamību α (Lorenca – Lorenca formula):

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = \frac{4}{3} \pi N \alpha,$$

kur N – polarizēto daļiņu skaits tilpuma vienībā.

2. 10. Ētera teorijas strupceļš

Amerikāņu fiziķis Alberts Maikelsons (1852 – 1931) 1881. gadā veica eksperimentu, kura mērķis bija Zemes kustības ātruma noteikšana attiecībā pret hipotētisko gaismas nesējvidi – ēteru. Ja pieņem, ka ēters ir nekustīgs, tad, raugoties no klasiskās fizikas viedokļa, Zemes kustība caur ēteru rada “ētera vēju”, kas, gaismas avotam atrodoties uz Zemes, ietekmē gaismas izplatīšanās ātrumu.

Alberts Maikelsons dzimis Polijā. 1854. gadā Maikelsonu ģimene pārcēlās uz ASV. Tur 1873. gadā Alberts beidza Jūras akadēmiju. Speciālie priekšmeti neizraisīja lielu Maikelsona interesi, toties viņam bija labas sekmes dabas zinātnēs. Laikā no 1880. gada līdz 1882. gadam Maikelsons papildināja zināšanas Vācijā un Francijā. Tad arī Vācijā Hermana Helmholtza laboratorijā viņš uzsāka savus eksperimentus, kas ar pārtraukumiem ilga vairākus gadu desmitus.

Raksturosim stāvokli, kāds bija izveidojies šajā laikā kustīgu ķermeņu optikā. Pēc Maksvela teorijas rašanās kļuva aktuāls jautājums, vai Galileja relativitātes princips ir izmantojams elektrodinamikā. Atšķirībā no mehānikas vienādojumiem Maksvela vienādojumi maina savu veidu, izmantojot Galileja transformāciju. No Maksvela vienādojumiem izriet, ka elektromagnētisko viļņu izplatīšanās ātrums vakuumā nav atkarīgs no gaismas avota vai novērotāja kustības. Šis Maksvela teorijas sekas bija pretrunā ar klasisko ātrumu saskaitīšanas likumu, kas ir Galileja relativitātes principa sekas. Radušos problēmu risināja dažādi. Heinriha Herca versija paredzēja, ka kustīgi ķermeņi ēteru pilnīgi aizrauj līdzī, tātad aizraušanas koeficients $K = 1$. Herca vienādojumi bija invarianti attiecībā pret Galileja transformāciju. Taču tie bija pretrunā ar A. Fizo eksperimentu un neguva popularitāti.

Fizo bija veicis savus mērījumus ūdens plūsmā, izmantojot Saules gaismu. Ūdens kustības ātrumu viņš stabilizēja ar speciālu iekārtu, kur ūdeni ar saspiesta gaisa palīdzību



Alberts Maikelsons
(1852 – 1931)

pārsūknēja no viena rezervuāra otrā. Ūdens kustības ātrums v bija apmēram 7 m/s. Ja ūdens pilnīgi aizrauj ēteru sev līdzī, tad interferējošo viļņu ceļu starpība ir:

$$\Delta l \approx 2ln^2/\lambda\beta,$$

kur l – gaismas staru ceļa garums ūdenī, n – ūdens laušanas koeficients, $\beta = v/c$. Fizo eksperimentā mēra pirmās kārtas efektus attiecībā pret v/c .

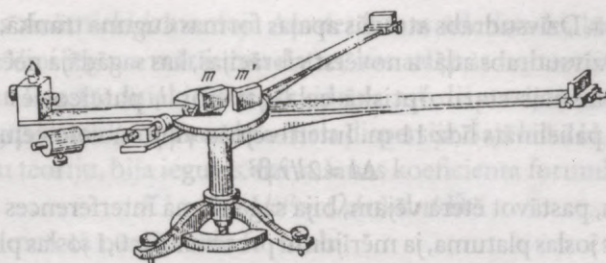
Pēc eksperimentiem Fizo secināja, ka vides kustība iespaido gaismas ātrumu. Viņš ieguva $K = 0,46$, kas ir divreiz mazāks par sagaidāmo, ja pareiza ir Herca versija. Fizo iegūtā aizraušanas koeficienta vērtība 15% robežās sakrīt ar Frenela aprēķināto lielumu. Pēc Fizo vērtējuma, kļūda saistīta ar šķidrums kustības ātruma izmaiņām. Taču Fizo eksperiments vēl neatrisināja jautājumu par saistību starp ēteru un ķermeņu kustību. Kaut arī pēc Fizo domām eksperimenta rezultāti apstiprina Frenela formulas pareizību, taču pašas formulas teorētiskais pamatojums ir visai samākslots. Nav saprotams, kā no Frenela teorijas pozīcijām skaidrot gaismas izplatīšanos kustīgā vidē, pastāvot dispersijai. Vēlākie precīzāk izpildītie mērījumi apstiprināja Fizo secinājumus un noraidīja ētera pilnīgās aizraušanas ideju.

Alternatīvs variants bija pieņēmums, ka vakuumā pastāv nekustīgs ēters, kas var kalpot par absolūtu atskaites sistēmu. Šādu viedokli aizstāvēja H. Lorencs. Neatrisināts palika jautājums, vai ir iespējams fiksēt novērotāja kustību attiecībā pret ēteru. Ja mērījumus izdara vidē, kuras laušanas koeficients ir tuvs vienam, tad Frenela aizraušanas koeficients $K \sim 0$. Zemes orbitālās kustības iespaidā vajadzētu rasties “ētera vējam”. Šis jautājums ir tieši saistīts ar relativitātes principu. Atbildi varēja sniegt tikai eksperiments. Taču šāda eksperimenta realizēšana saistīta ar milzīgām grūtībām. Uz tām norādīja jau Maksvels savā rakstā “Ēters”, kuru viņš uzrakstīja Britu enciklopēdijai.

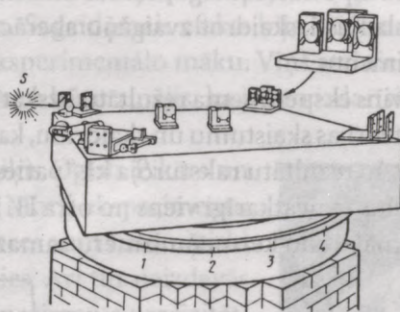
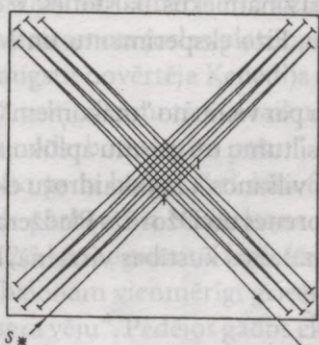
“Ja varētu noteikt gaismas ātrumu,” rakstīja Maksvels, “novērojot laiku, kuru gaisma patērē, uz Zemes noejot no viena punkta līdz otram, tad, salīdzinot novērotos kustības ātrumus pretējos virzienos, mēs varētu noteikt ētera kustības ātrumu attiecībā pret šiem punktiem uz Zemes. Bet visas metodes, kuras var izmantot gaismas ātruma noteikšanai eksperimentos uz Zemes, ir atkarīgas no laika mērīšanas, kas nepieciešams ceļa pārvarēšanai no viena punkta līdz otram un atpakaļ, un šā laika palielināšanās ētera relatīvā ātruma dēļ, kas vienāds ar Zemes ātrumu orbitā, veidotu tikai vienu simtmiljono daļu no visa izplatīšanās laika un tātad, protams, būtu pilnīgi nemanāma... Vienīgais iespējamais tiešais paņēmieni ētera relatīvā ātruma noteikšanai attiecībā pret Saules sistēmu balstās uz gaismas ātruma vērtību salīdzināšanu, kas iegūtas Jupitera pavadoņu aptumsuma novērojumos, kad Jupiters redzams no Zemes ekliptikas pretējos punktos.”

Taču astronomisko novērojumu precizitāte neļauj reģistrēt efektu, par kuru raksta Maksvels. Tādēļ jāapmierinās tikai ar “Zemes” eksperimentiem, kur gaismas stars noiet noslēgtu ceļu. Pēc Maksvela vērtējuma, ētera problēmas eksperimentālai atrisināšanai ir jāfiksē gaismas pārvietošanās laiks ar precizitāti $\Delta t/t = v^2/c^2 \approx 10^{-8}$, kas ir otrās kārtas mazs lielums.

Darbu pie šā grūtā uzdevuma uzsāka Maikelsons. Pēc V. Tomsona un Dž. Releja ieteikuma viņš atkārtoja Fizo eksperimentu un ieguva Frenela aizraušanas koeficientu $K = 0,43 \pm 0,02$, kas labi sakrīt ar teorētisko. Saviem pētījumiem Maikelsons izveidoja



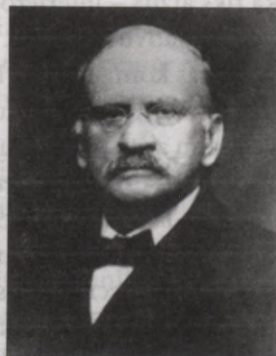
Maikelsona pirmā interferometra ārējais izskats:
 m – puscaurlaidīga plāksnīte, m' – kompensatora plāksnīte



Maikelsona uzlabotā interferometra optiskā shēma un kopskats

speciālu interferometru, kurš vēlāk ieguva Maikelsona interferometra nosaukumu. Pirmo interferometru pēc Maikelsona zīmējumiem izgatavoja Berlīnes instrumentu rūpnīcā par telefona izgudrotāja Aleksandra Bella (1847 – 1922) līdzekļiem. Interferometra plecu garums bija 120 cm. Mērījumos izmantoja nātrija dzelteno līniju (5890 Å). Interferometra pārbaude notika Helmholca laboratorijā. Bija paredzēts salīdzināt gaismas noieto ceļu Zemes kustības virzienā un perpendikulāri tam. Jau pirmajos eksperimentos pierādījās, ka interferometrs ir ļoti jutīgs pret vibrācijām un tas reaģēja pat uz ekipāžu pārvietošanos Berlīnes ielās. Iekārtu nācās pārvest uz Potsdamas astronomisko observatoriju, kur to iemontēja lielā teleskopa ķieģeļu pamatnes nišā. Arī šādos apstākļos interferometrs reaģēja uz cilvēku soļiem pa bruģi blakus kvartālā, un sagaidāmā interferences joslu novirze bija divreiz mazāka par mērījumu kļūdu.

1882. gadā Maikelsons atgriezās ASV, kur Keisa praktiskās zinātnes skolā organizēja zinātnisku laboratoriju. Kopā ar ķīmijas profesoru Edvardu Morli (1838 – 1923) viņi atkārtoja Potsdamas eksperimentu ar uzlabotu iekārtu. Lai novērstu iespējamās interferences ainas iegūšanas kļūdas, interferometru novietoja uz masīvas akmens plāksnes, kas uz koka pamatnes



Edvardus Morli
 (1838 – 1923)

peldēja dzīvsudrabā. Dzīvsudrabs atradās apaļas formas čuguna traukā, kas bija novietots uz ķieģeļu balsta. Dzīvsudrabs atļāva novērst vibrācijas, kas sagādāja neērtības iepriekšējos eksperimentos. Gaismas staru optiskā ceļa garums l , pateicoties vairāku spoguļu izmantošanai, tika palielināts līdz 11 m. Interferējošo viļņu noieto ceļu starpība bija:

$$\Delta l \approx 2l\lambda\beta^2.$$

Šādos apstākļos, pastāvot ētera vējam, bija sagaidāma interferences ainas pārbīde par 0,4 no interferences joslas platuma, ja mērījumu precizitāte ir 0,1 joslas platuma. Mērījumu rezultātu apstrāde tika pabeigta 1887. gadā. Maikelsons un Morli rakstīja, ka novērotā interferences joslu pārbīde bija mazāka par 1/20 no sagaidāmās, kas varētu atbilst ētera vēja ātrumam 5 – 7 km/s. Šis rezultāts ietilpa mērījumu kļūdu robežās un liecināja par nekustīgā ētera hipotēzes kļūdigumu. Tas mulšināja zinātniekus. Balstoties uz ētera teoriju, nevarēja vienlaikus izskaidrot zvaigžņu aberāciju, Fizo eksperimentu un Maikelsona – Morli eksperimentu.

Lords Kelvins eksperimenta rezultātu uzskatīja par vienu no “mākoņiem”, kurš apēno “dinamiskās teorijas skaistumu un skaidrību, kas siltumu un gaismu aplūkoja kā kustības veidu”. Relejs šo rezultātu raksturoja kā “patiesu vilšanos”. Lai skaidrotu eksperimenta negatīvo rezultātu, neatkarīgi viens no otra H. Lorencs un Džordžs Ficdžeralds izvirzīja hipotēzi par materiālo ķermeņu izmēru samazināšanos kustības virzienā, kur:

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}.$$

Vēl sešus gadus pēc eksperimenta Lorencs rakstīja Relejam: “Esmu lielās grūtībās, kā atrisināt šo pretrunu, un tomēr domāju, ja mums nāktos atteikties no Frenela teorijas, tad mums vispār nepaliktu pieņemamas teorijas... Vai Maikelsona eksperimenta teorijā nevarētu būt kāds punkts (kļūda), kas līdz šim nav pamanīts?” (Maikelsona eksperimenta teorijas pirmajā variantā Lorencs atrada kļūdu, kuras dēļ sagaidāmais efekts bija novērtēts divas reizes lielāks.)

Vīlies bija arī pats Maikelsons. Viņš rakstīja: “Eksperiments, man šķiet, ir vēsturiski svarīgs jau tāpēc vien, ka šīs problēmas risināšanai tika izgudrots interferometrs. Es domāju, ka tiks atzīts – interferometra izgudrošana pilnīgi kompensēs faktu, ka šis eksperiments deva negatīvu rezultātu.” Savu attieksmi pret eksperimenta rezultātu formulēja arī Nobela prēmijas komiteja, kas 1907. gadā piešķīra Maikelsonam prēmiju “Par precīzijas optisko instrumentu radīšanu un par precīzu spektroskopisku un metroloģisku eksperimentu veikšanu ar tā palīdzību”, neminot ne vārda par laureāta pašu svarīgāko eksperimentu.

Pirmās precīzās interferometriskās garuma mērīšanas metodes Maikelsons izstrādāja 1887. gadā. Laikā no 1892. līdz 1893. gadam Starptautiskajā mēru un svaru birojā notika pirmais metra un gaismas viļņu garuma salīdzinājums. Par gaismas avotu Maikelsons izmantoja speciāli konstruētas kadmija lampas sarkano līniju. Šie Maikelsona darbi ir minēti komitejas dotajā formulējumā.

Turpmākajos gados gan Fizo, gan Maikelsona eksperimenti tika pārbaudīti daudzkārt, tos uzlabojot. 1914. gadā holandiešu fiziķis Pīters Zēmanis ar līdzstrādniekiem interferences joslu reģistrēšanai izmantoja fotogrāfisko metodi. Lai iegūtu stacionāru ūdens

plūsmu, Holandes zinātnieki izmantoja Amsterdamas ūdensvadu, kur ūdens spiedienu rūpīgi kontrolēja. Viņi ieguva mērījumu datus, kas atšķirās no teorijas ne vairāk kā par 2,6%. Zēmanis ar līdzstrādniekiem noskaidroja arī dispersijas iespaidu uz gaismas izplatīšanos kustīgos cietos ķermeņos, kam liela dispersija. Šajā laikā H. Lorencs, balstoties uz vielas elektronu teoriju, bija ieguvis aizraušanas koeficienta formulu:

$$K' = 1 - 1/n^2 - (\lambda/n) \cdot dn/d\lambda,$$

kura bija labāk pamatota par Frenela formulu.

Zēmaņa eksperimentos stikla un kvarca cilindrus iekustināja ar 10 m/s lielu ātrumu. Interferences ainu fotografēja 4750 Å, 5380 Å un 8510 Å viļņu garumu rajonos. Eksperimenti apstiprināja Lorenca teoriju.

1922. gadā jaunais amerikāņu fiziķis R. Kenedijs palielināja mērījumu precizitāti līdz 0,001 interferences joslas platumam. Sagaidāmais efekts bija 0,07 joslas platumam. Maikelsons augstu novērtēja Kenedija eksperimentālo māku. Viņš atzinies Kenedijam: "Es redzu, ka veltīgi esmu tērējis laiku. Ja es būtu zinājis, ka jūs to izdarīsiet tik labi, es nebūtu sācis nodarboties ar to pašu."

Divdesmito gadu beigās šveiciešu fiziķis Ogists Pikārs un beļģis E. Stels pārbaudīja Maikelsona – Morli eksperimentu gaisa balonā 2,5 km augstumā. Interferences ainu automātiski fotografēja, balonam vienmērīgi griežoties. Arī tur neizdevās konstatēt "ētera vēju". Pēdējos gados eksperimenta precizitāti palielināja, izmantojot māzerus un lāzerus. Vienā no pēdējiem eksperimentiem ieguva, ka gaismas ātruma Zemes kustības virzienā pret ātrumu perpendikulāri Zemes kustības virzienam attiecība atšķiras no viena ne vairāk kā par 10^{-15} , kas, pēc angļu fiziķa un filozofa Džona Bernala (1901 – 1971) vārdiem, ir "lielākais no visiem negatīvajiem rezultātiem zinātnes vēsturē".

Ētera teorija bija nonākusi strupceļā.

2. 11. Gaismas spiediena pētījumi

1894. gadā krievu fiziķis Aleksandrs Sadovskis (1859 – 1921) izteica domu, ka cikliski polarizētai gaismai ir kustības daudzuma moments. Ja kristāls pārveido eliptiski polarizētu gaismu lineāri polarizētā, tad kristālam jāiegūst mehānisks griezes moments. Šo efektu 1936. gadā eksperimentāli apstiprināja R. A. Bets.

Gaismas vilnim bez enerģijas piemīt arī impulss. No šejienes izriet, ka gaismas vilnis, apgaismojot kādu priekšmetu, tam atdod savu impulsu, t. i., izdara uz to spiedienu. Maksvels, pamatojoties uz gaismas elektromagnētisko teoriju, izskaitļoja šā impulsa vērtību. Taču viņa aprēķins bija visai abstrakts un neieguva tūlītēju atzinību.

Neatkarīgi no Maksvela un pilnīgi citā veidā, balstoties uz termodinamikas principiem, arī itāļu fiziķis Adolfo Bartoli (1851 – 1896) 1879. gadā secināja, ka gaismas viļņi izdara uz ķermeņiem spiedienu.

1900. gadā starptautiskajā fiziķu kongresā Parīzē krievu fiziķis Pjotrs Ļebedevs (1866 – 1912) ziņoja par gaismas spiediena eksperimentālajiem pētījumiem. Ļebedeva eksperiments



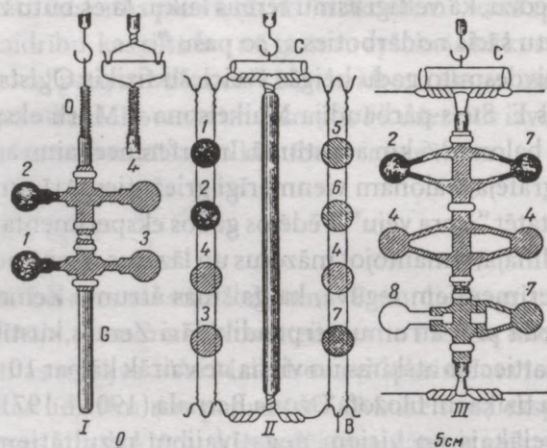
Ogists Pikārs
(1884 – 1962)

apstiprināja Maksvela elektromagnētiskās teorijas paredzējumu. Tas parādīja, ka elektromagnētiskajam laukam ir impulss. Tikai pēc Ļebedeva eksperimenta izzuda visas šaubas. Lords Kelvins sarunā ar Maskavas fiziķi (krievu botāniķa Klimenta Timirjazeva dēlu) Arkādiju Timirjazevu (1880 – 1955) atzinās: “Jūs droši vien zināt, ka es visu mūžu cīnījos ar Maksvelu, bet, lūk, jūsu Ļebedevs ar saviem eksperimentiem piespieda mani padoties.”

“Mani eksperimenti,” rakstīja Ļebedevs, “bija šādi: stikla balonā, kurš bija rūpīgi atsūkņēts, ļoti tievā stikla pavedienā karājās mazs horizontāls svirnis, kura galā bija piestiprināti spārniņi 5 mm diametrā, kas izgatavoti no platīna, alumīnija, niķeļa vai vizlas. Loka lampas gaisma ar lēcas palīdzību tika virzīta uz šiem spārniņiem; gaismas spiediena spēku varēja izmērīt tādā veidā, ka gaisma, krītot uz spārniņiem, lika tiem kustēties un savērt stikla pavedienu līdz tam laikam, kamēr iestājās līdzsvars; bet, kad gaismas plūsma tika pārtraukta, tad spārniņi atgriezās savā sākotnējā stāvoklī. Vērpes svaru eksperimentāli izmērītās novirzes lielums un spārniņa novirzes lielums, kas



Pjotr Ļebedevs
(1866 – 1912)



Svirnis ar spārniņiem gaismas spiediena mērīšanai

izskaitļots saskaņā ar Maksvela – Bartoli teoriju atbilstoši enerģijas lielumam krītošā gaismas kūlī, pilnīgi sakrīt viens ar otru iespējamo novērošanas kļūdu robežās.”

Gaismas spiediena precīzs aprēķins ļāva atklāt vienkāršu sakarību. Ja stari krīt perpendikulāri apgaismotai virsmai, tad gaismas spiediens skaitliski ir vienāds ar radiācijas telpisko blīvumu:

$$p = \rho(1 + r) \text{ jeb } p = E(1 + r)/c,$$

kur E – enerģijas plūsmas blīvums, kas ir izteikts $\text{erg/cm}^2\cdot\text{s}$, c – gaismas ātrums, izteikts cm/s , r – atstarošanās koeficients. Spiediena skaitliskā vērtība ir maza. Melna virsma, ko apgaismo Saules stari normāles virzienā, izjūt spiedienu $0,45 \text{ mg/m}^2$.

Ļebedevam izdevās eksperimentāli novērot, ka gaismas kūlis savā kustības virzienā aizrauj arī atsevišķas molekulas. Nīderlandiešu izcelsmes vācu un amerikāņu fiziķis Peters Debajs (1884 – 1966) 1909. gadā izskaitļoja Saules staru spiedienu uz atsevišķām gāzes molekulām komētu astēs un pierādīja, ka ar to var izskaidrot komētu astes formu.

Saules staru iedarbības lomu var ilustrēt ar šādiem spriedumiem. Saules gaismas atgrūdejspēks ir mazs, bet tas kļūst ievērojamāks, salīdzinot ar pievilkšanas spēku, jo

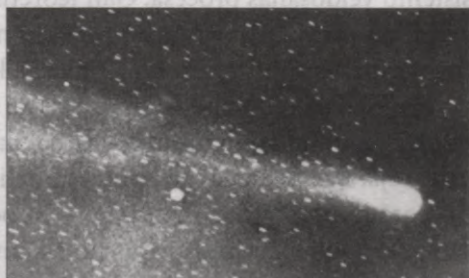
mazāks ir ķermenis. Pieņemsim, ka, pateicoties gaismas spiedienam, nelielu putekliņi Saule pievelk 100 reižu stiprāk nekā atgrūž. Izvēlēsimies tā paša materiāla lodītes, kuru diametri ir 100 reižu mazāki par puteklišu diametriem. Tad to masa un arī spēks, ar kādu tos pievilks Saule, būs 1 000 000 reižu mazāks nekā puteklišu gadījumā. Bet lodīšu virsma un atgrūšanas spēks, ko izraisa krītošā Saules gaisma, būs tikai 10 000 reižu mazāks nekā puteklišiem. Tādējādi spēks, ar kādu Saules masa pievelk šīs mazās lodītes, kļūst vienāds ar Saules staru atgrūšanas spēku. Ķermeņiem, kuru masa būs vēl mazāka, pārsvarā būs Saules staru atgrūšanas spēki.

Mūsdienu kosmiskie eksperimenti turpina daudzus gadsimtus ilgušo komētu pētniecības vēsturi. Vārds "komēta" mantots no grieķu astronomiem, kas šos Saules pavadoņus sauca par "*aster kometes*" – garmatainās zvaigznes.

Jau Keplers kritizēja Aristoteļa uzskatus, ka komētas aste ir Zemes atmosfēras duļķes, kas rodas Zemes tuvumā. Keplers 1617. gadā izteica pieņēmumu, ka komētu astes vienmēr attīstās Saulei pretējā virzienā un ka tās varētu viegli izskaidrot, ja Saules stariem piedēvētu spiedienu, kas aizrauj komētu asti veidojošo materiālu. Taču Keplera priekšlikums laika gaitā tika aizmirsts. Tikai 1902. gadā zviedru zinātnieks Svante Arēniuss (1859 – 1927) pierādīja gaismas spiediena lomu kosmiskajā fizikā. Mūsdienās, pateicoties jaunākajiem pētījumiem, Keplera uzskati apstiprinājušies un ievērojami papildināti.

Tagad ir zināms, ka komēta sastāv no kodola, atmosfēras un astes. Komētu kodols atrodas atmosfēras centrā. Amerikāņu astronoms Freds Vipls (dz. 1906. gadā) komētas kodolu salīdzina ar sniega piku, kas ir dažādu vielu ledus konglomerāts ar dažus kilometrus lielu diametru. Tuvojoties Saulei, komētas kodols uzsilst un tā viela sublimējas – pāriet gāzveida stāvoklī. Gāzes un putekļu maisījums veido komētas atmosfēru, kuru vājšais kodola pievilksanas spēks nespēj noturēt un tāpēc tā izklist pasaules telpā. Gāzes nonāk mijiedarbībā ar Saules elektromagnētisko un korpuskulāro starojumu. Tā iespējama rodas daudz jonizētu un ierosinātu daļiņu.

Sevišķi auglīgi bija 1985. – 1986. gada pētījumi. Šajā laikā divas pazīstamākās komētas – Džakobīni – Cinnera un Haleja komēta – nonāca novērošanai izdevīgā stāvoklī. Džakobīni – Cinnera komētas pētniecībā pirmoreiz tika izmantoti kosmiskie aparāti. Veiktie pētījumi ļāva pārbaudīt teorijas komētu sastāva un dinamikas skaidrošanai.



Haleja komētas astes atvienošanās, kas fotografēta tās iepriekšējās tuvošanās reizē Zemei. Uzņēmumi izdarīti 1910. gada 6. jūnijā Jorkas observatorijā un Honolulu, 7. jūnijā Beirūtā. Komētas astes atvienošanas pirmo reizi aprakstīja Bārnards 1899. gadā. Viņš pieļāva, ka šo parādību izraisa komētas mijiedarbība ar starplanētu telpas vidi

1985. gada 11. septembrī NASA Starptautiskais komētu pētniecības pavadoņs (*International Cometary Explorer*) izgāja cauri Džakobīni – Cinnera komētas astei un noraidīja uz Zemi liela apjoma informāciju. Eiropas Kosmiskās aģentūras, Japānas un PSRS kosmiskā zonde 1986. gada martā tuvojās Haleja komētai, iegūstot datus par komētas atmosfēras un kodola struktūru, sastāvu un fizikālajām īpašībām. Saskaņā ar 1987. gadā publicētiem datiem, Haleja komētas kodols ir diezgan izstiepts ķermenis – 16 km garumā un 8 km mazākajā diametrā. Tā tilpums ir vismaz 500 km³. Aprēķini parādīja, ka kodola blīvums ir mazāks nekā ledum. Tas liek domāt, ka komētas kodols ir tik porains, ka tukšumi tajā aizņem ievērojamu daļu vietas.

Fotogrāfijas izgudrošana 19. gadsimtā bija pagrieziena punkts arī komētu pētniecībā. Tika noskaidrots, ka komētām ir divu tipu astes: putekļu un plazmas. Amerikāņu astronoms Eduards Emersons Bārnards (1857 – 1923) novēroja, ka plazmas astes ir ar sarežģītu struktūru. Bārnarda pētījumi liecināja, ka komētu plazmu astes atraujas starpplanētu telpā un zaudētās vietā veidojas jauna aste.

Mūsdienās pieņemts uzskatīt, ka komētas plazmas astes veido Saules korpuskulārais starojums – Saules vējš ar savu magnētisko lauku. Magnētiskā lauka pētījumi Zemes apkaimē parādīja, ka komēta zaudē savu plazmas asti momentā, kad tā šķērso robežu starp magnētiskā lauka sektoriem ar pretēju polaritāti. 25 dienu periodā, kad Saule veic rotāciju ap savu asi, tā veido četrus magnētiskā lauka sektorus ar pretēju polarizāciju. Šie sektori rotē kopā ar Sauli. No plazmas fizikas viedokļa, pretējie lauka virzieni veido nestabilu konfigurāciju. Satuvinoties jaunā sektora spēka līnijām ar komētas spēka līnijām, pēdējās tiek “pārrautas” un savienojas ar sektora spēka līnijām. Komēta sāk kustību jaunā magnētiskā lauka sektorā. No komētas atrautās spēka līnijas turpina saturēt kopā komētas vielu. Zaudētā aste ir novērojama, pateicoties tās daļiņu luminiscencei. Zaudētās astes vietā komēta “ataudzē” jaunu asti, kuras polaritāte atbilst jaunā sektora magnētiskā lauka polaritātei.

Masīvu ķermeņu gadījumā gaismas spiediens ir niecīgs. Saules gaisma izdara spiedienu uz Zemes apgaismoto pusi. Tas ir apmēram 6·10⁷ kg, kas ir 10¹⁴ reižu mazāks par gravitācijas spēku, un tam nav praktiskas nozīmes. Gaismas spiediens uz sīkiem ķermeņiem, kā redzējām, var gūt pārsvaru pār gravitācijas spēku. Šim faktam ir liela nozīme planētu sistēmu veidošanās procesā. Gan teorētiski, gan eksperimentāli ir pamatots, ka planētas rodas no pirmatnējā gāzu un putekļu mākoņa vielas kondensēšanās procesā. Tā gaitu divos aspektos būtiski ietekmē centrālā ķermeņa jeb zvaigznes starojums.

Pirmkārt, ja putekļu daļiņa kustas ap centrālo spīdekli, tad fotonu plūsma iedarbosies uz daļiņu un kustību bremsēs. Situācija ir līdzīga kā skrējējam lietū, kad lietus pilieni sitas sejā. Bremsēšanas dēļ putekļu daļiņas pakāpeniski tuvojas zvaigznei un iztvaiko. Šo parādību sauc par Pointinga – Robertsona efektu. Pointinga – Robertsona efekta ietekmē Saules sistēma attīrās no sīkām daļiņām, kuras savas mazās masas un relatīvi lielā virsmas laukuma dēļ ir visjutīgākās pret gaismas spiedienu.

Otrkārt, centrālais ķermenis jeb zvaigzne ir rotējošs lodes formas plazmas veidojums. Tā lodes puse, kas rotējot tuvojas putekļa daļiņai, izstaro augstākas frekvences un lielākas enerģijas fotonu nekā otra puse. Tādēļ gaismas spiediens no puses, kas tuvojas daļiņai,

būs lielāks nekā no tās puses, kas attālinās. Tādējādi zvaigznes izstaroto fotonu spiediens piešķir daļiņai papildu ātrumu, kas vērstš zvaigznes rotācijas virzienā. Jo daļiņa ir tuvāk zvaigznei, jo šis efekts izteiktāks. Noteiktā attālumā no zvaigznes paātrinotais spēks kompensēsies ar Pointinga – Robertsona efekta radīto spēku, un daļiņa sāks kustēties pa stabilu orbītu. Orbītas rādiuss atkarīgs no daļiņas sastāva un izmēra.

Pietiekami ilgā laikā var notikt apmēram vienāda sastāva un izmēra kosmisko putekļu joslu veidošanās. Balstoties uz šiem apsvērumiem, astrofizikā cer izskaidrot arī Saules sistēmas uzbūves īpatnības, piemēram, atšķirības starp tuvajām un tālajām planētām.

Gaismas spiedienu var būt būtiska loma arī citos kosmiskā rakstura procesos. Zvaigžņu iekšienē, kur temperatūra sasniedz vairākus miljonus grādu, gaismas spiediens vai – precīzāk – elektromagnētiskā lauka spiediens var sasniegt milzīgas vērtības. Tādā gadījumā tas kopā ar gravitācijas spēku nosaka fizikālos procesus zvaigznē un tās evolūcijas gaitu.

Interesants notikums, kad gaismas spiediena iespaids netika pienācīgi novērtēts, gadījās kosmonautikas attīstības sākumperiodā ar kādu amerikāņu pavadoni. Pēc tam, kad pavadonis bija palaists orbītā, ar saspiestu gaisu papildīja lielu polietilēna balonu. Izveidojās viegla lode apmēram 30 m diametrā. Vēlāk noskaidrojās, ka viena apgrieziena laikā ap Zemi Saules gaismas spiediena ietekmē pavadonis novirzās no orbītas par 5 metriem. Šo izmaiņu dēļ pavadonis noturējās orbītā tikai nepilnu gadu paredzēto 20 gadu vietā.

Ar gaismas spiediena lomas noskaidrošanu arī noslēdzās viens no optikas attīstības etapiem. Viļņu optikas principi pamatā tika formulēti līdz 1900. gadam. 19. gadsimts bija viļņu optikas gadsimts, taču jau gadsimta beigās kļuva skaidrs, ka procesus, kas notiek atomos, neļauj aprakstīt klasiskie priekšstati. Tādēļ 20. gadsimta sākumā optika tika kardināli pārskatīta. To diktēja kvantu teorija, kas būtībā mainīja mūsu uzskatus par gaismas dabu, nenoliedzot iepriekšējos pētījumus. Tā tikai parādīja to ierobežoto raksturu un izmantošanas robežas. Tādēļ agrāk izstrādāto principu un metožu vispārināšana un izmantošana turpinās arī mūsdienās. Kā spilgtu piemēru var minēt kaut vai matricu optikas un Furjē optikas rašanos, kas veidojās uz ģeometriskās un viļņu optikas bāzes, ieviešot tajās matricu rēķinu un Furjē analīzes metodes.

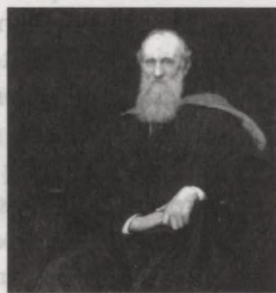
Pats svarīgākais, visu aizēnojošs fakts optikā nav teorija, bet gan reālā īstenība, eksperiments – tas ir fakts, ka elektrons izrādījās vilnis.

D. Roždestvenskis

3. KVANTU OPTIKAS IZVEIDE

3. 1. Termiskā starojuma likumības. Ultravioletā katastrofa

Fizika 19. un 20. gadsimta mijā pārdzīvoja dziļu krīzi, un neviens nezināja, kā no tās izklūt. Nepatikšanas sākās, kad tika atklāta radioaktivitāte, rentgenstari un elektrons. Taču zinātnieki vēl neapzinājās, kādas sekas izraisīs šie atklājumi. Savā runā Karaliskajā institūtā 1900. gada aprīlī lords Kelvins (Viljams Tomsons, 1824 – 1907) paziņoja, ka zinātne, pārvarējusi daudz “zemūdens akmeņu” un “vētru”, beidzot nonākusi mierīgā “ostā”; visas svarīgākās problēmas ir atrisinātas, jāprecizē tikai detaļas, jāizkļiedē dažī “mākonīši”, kas nedaudz aizēno skaidrās zinātnes debesis. Par šiem “mākonīšiem” Tomsons uzskatīja grūtības starojuma teorijā un Maikelsona eksperimenta izskaidrošanā.



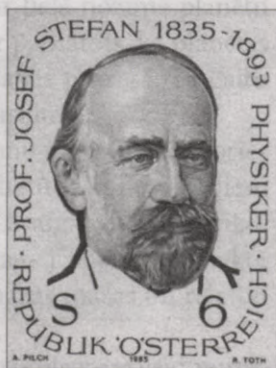
Viljams Tomsons
(1824 – 1907)

Sakarsuši ķermeņi izstaro elektromagnētiskos viļņus. Zemā temperatūrā tie ir infra-sarkanie stari, augstā temperatūrā – redzamā gaisma, ļoti augstā temperatūrā – rentgena un arī γ stari. Jebkura gaismas avota starojumu var raksturot ar tā spektru, t. i., ar enerģijas sadalījumu dažādos viļņu garuma rajonos. Spektram attiecībā uz starojumu ir tāda pati nozīme kā ātruma sadalījuma funkcijai attiecībā pret atomu kustību, tie abi ir atkarīgi no temperatūras. Atomu ātruma sadalījuma funkciju 1859. gadā atklāja Maksvels. Termisko starotāju spektra teorija sastapās ar būtiskām grūtībām, un to pārvarēšanai bija nepieciešams vēl gandrīz pusgadsimts. Svarīga nozīme termiskā starojuma teorijas attīstībā bija priekšstatam par līdzsvarotā starojuma temperatūru un sadalījuma funkciju. Šo problēmu 1859. gadā formulēja Kirhofs. Viņš konstatēja, ka ķermeņa emisijas spēja attiecībā pret absorbcijas spēju ir universāla temperatūras un viļņu garuma funkcija:

$$e(\lambda, T)/a(\lambda, T) = E(\lambda, T).$$

1862. gadā Kirhofs ieteica absolūti melna ķermeņa koncepciju un modeli.

1879. gadā austriešu fiziķis Jozefs Stefans (1835 – 1893) publicēja darbu “Par sakarību starp siltuma starojumu un temperatūru”. Analizējot eksperimentus, Stefans secināja, ka starojuma jauda ir proporcionāla temperatūras ceturtajai pakāpei. Uz šādām domām viņu vedināja Džona Tindāla eksperiments ar sakarsētu platīna stiepli. Sildot stiepli no vājas sarkankvēles (525 °C) līdz baltkvēlei (1200 °C), starojuma



Jozefs Stefans
(1835 – 1893)

jauda pieauga 11,7 reizes. Absolūto temperatūru ceturto pakāpju attiecība iegūst ļoti tuvu vērtību – 11,6. 1884. gadā Stefana tautietis Ludvigs Bolcmanis (1844 – 1906) šo sakarību pamatoja arī teorētiski. Tagad mēs šo sakarību pazīstam kā Stefana–Bolcmaņa likumu:

$$R(T) = \sigma T^4,$$

kur $R(T)$ – enerģētiskā spīdība, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2} \text{ K}^{-4}$.

1893. gadā vācu fiziķis Vilhelms Vīns (1864 – 1928) atklāja, ka starojuma maksimums absolūti melna ķermeņa spektrā, palielinot temperatūru, pārvietojas uz īso viļņu pusi. Berlīnes Zinātņu akadēmijas fizikas un matemātikas nodaļas sēžu protokolos 1893. gada 9. februārī rakstīts: “Helmholca kungs iesniedza turpmāk citēto Vācijas Fizikāli tehniskā institūta asistenta V. Vīna kunga pētījumu: “Jaunais par sakarību starp melna ķermeņa starojumu un termodinamikas otro likumu”.”

Vīns sava darba rezultātu formulē šādi: ja kādai noteiktai temperatūrai T_0 grafiski attēlots spektrālais sadalījums E_0 atkarībā no viļņu garuma λ_0 , tad, lai atrastu sadalījumu E atkarībā no λ temperatūrai T , attēlotais grafiks jāatstāj nemainīgs, bet atbilstoši jāpārveido ordinātas un abscisas mērogi:

$$\lambda T = \lambda_0 T_0, E/T^5 = E_0/T_0^5.$$

Tas nozīmē, ka, mainot absolūti melna ķermeņa temperatūru no T_0 uz T , visi viļņu garumi jāpārveido saskaņā ar $\lambda = \lambda_0 T_0/T$. No šejienes arī radies nosaukums “Vīna pārbīdes likums”. Oto Lummers un Ernsts Pringsheims 1900. gadā konstatēja, ka $\lambda_m T = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$, kur λ_m – viļņa garums, kuram temperatūrā T atbilst starojuma maksimums.

Jautājums par starojuma enerģijas spektrālo sadalījumu palika nenoskaidrots. Problēmu sāka risināt, aplūkojot noslēgtu tilpumu, kurā atrodas elektromagnētiskie viļņi. Siltumstari, pēc 19. gadsimta terminoloģijas, no trauka sienām nonāk dobumā līdz brīdim, kamēr iestājas termodinamiskais līdzsvars, kuru nosaka dobuma temperatūra T . Līdzsvara apstākļos enerģija, kuru izstaro sienas, precīzi kompensējas ar absorbēto enerģiju. Tāpēc uzskata, ka starojumam ir tāda pati temperatūra kā trauka sienām un iestājas termodinamisks līdzsvars līdzīgi kā ideālām gāzēm izolētā tilpumā. Kaut arī uzdevums tika formulēts, tā risināšana sagādāja būtiskas grūtības.

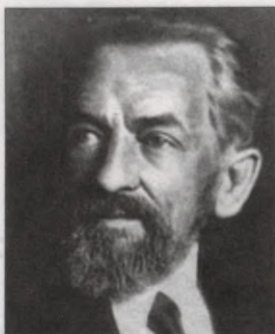
Spektrālā sadalījuma eksperimentālie mērījumi ļāva Vīnam 1896. gadā ieteikt pirmo formulu universālajai funkcijai $E(\lambda, T)$. Pamatojums bija līdzība starp eksperimentālo spektrālās intensitātes likni un Maksvela ātruma sadalījuma grafisko attēlu. Balstoties uz to, Vīns rakstīja: “Mēs izvirzām hipotēzi, ka katra molekula izstaro svārstības ar viļņa garumu, kas atkarīgs tikai no molekulas kustības ātruma, un svārstību intensitāte arī ir šā ātruma funkcija. Pie šā secinājuma var nonākt, izdarot dažus speciālus pieņēmumus attiecībā uz izstarošanas procesu. Bet, tā kā šādi pieņēmumi liktos pagaidām pilnīgi patvaļīgi,



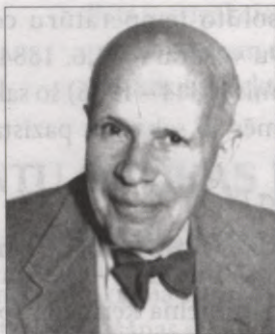
Ludvigs Bolcmanis
(1844 – 1906)



Vilhelms Vīns
(1864 – 1928)



Oto Lummers
(1860 – 1925)



Ernsts Pringsheims
(1859 – 1917)



Džeimss Džinss
(1877 – 1946)

man šķiet, tagad cerīgāk izvirzīt vajadzīgo hipotēzi pēc iespējas vienkāršākā un vispārīgākā veidā.” Vins pie vajadzīgā secinājuma nonāca pēc lappuses gariem aprēķiniem:

$$E(\lambda, T) = C_1 \cdot \lambda^{-5} \exp(-C_2/\lambda T) \text{ (Vīna formula),}$$

kur C_1 un C_2 – konstantes.

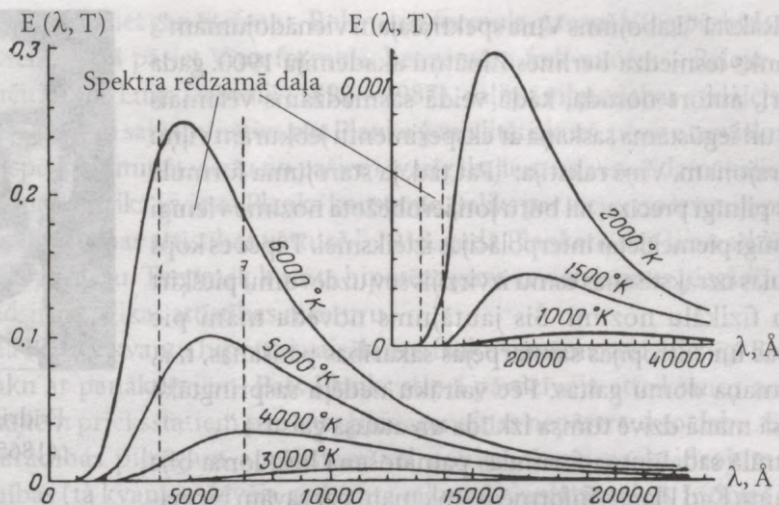
Planks augstu novērtēja Vīna sasniegumus un 1910. gadā savā rekomendācijā Berlīnes Zinātņu akadēmijai pieņemt Vīnu par korespondētājlocekli rakstīja: “Pārbīdes likums tika atklāts laikā, kad par tā eksperimentālu pārbaudi vēl nevarēja būt runas. Vēlāk, kad viņam (Vīnam) pēc trīs gadiem izdevās kopā ar Oto Lummeru radīt absolūti melna ķermeņa modeli mērījumiem izdevīgā formā, noskaidrojās, ka Vīna pārbīdes likums ir pilnīgi precīzs dabas likums, kurš tagad kalpo par vienu no visas starojuma teorijas pamatlikumiem. Gluži tāpat arī otrs Vīna izvirzītais starojuma likums, tā sauktais enerģijas sadalījuma likums, izrādījās, ja ne pilnīgi vispārīgs, tad tomēr pieņemams visai plašā rajonā, konkrēti – pietiekami īsiem viļņiem un pietiekami zemām temperatūrām, turklāt tas izturēja pārbaudījumu ar visjutīgākajiem eksperimentiem.”

Vīna formula ieguva atzinību tāpēc, ka tā apmierinoši atbilda eksperimenta rezultātiem, nevis tās teorētiskās pamatotības dēļ. Džons Relejs 1900. gadā rakstīja: “No teorētiskā redzes viedokļa, šis rezultāts man šķiet ne vairāk kā minējums. Taču to apstiprināja Planks, pamatojoties uz vispārīgiem termodinamiskiem apsvērumiem.”

Nākamais mēģinājums pamatot universālo starojuma spektrālā sadalījuma funkciju balstījās uz atomu, kas veido trauka sienas, pielīdzināšanu oscilatoru kopumam, kur katram oscilatoram saskaņā ar Maksvela teorēmu ir vidējā enerģija kT . Tad, izmantojot termodinamikas metodes, var aprēķināt starojuma enerģijas blīvumu. Relejs savā formulas pamatojumā uzskatīja, ka oscilatoru skaits ir proporcionāls lielumam $v^2 dv$. Aprēķinot atomu dažādo svārstību iespējamo skaitu, Relejs 1900. gadā un Džeimss Džinss (1877 – 1946) 1905. gadā atrada līdzsvarotam starojumam šādu sakarību:

$$E(v, T) \Delta v = \frac{8\pi v^2 kT}{c^3} \Delta v \text{ (Releja – Džinss formula).}$$

Zemām frekvencēm šī formula labi saskan ar eksperimentu. Palielinot frekvenci, oscilatoru skaits pieaug neierobežoti un starojuma enerģija kļūst bezgalīga.



Melna ķermeņa starojuma spektrālais sadalījums. Palielinot temperatūru, maksimums pārvietojas uz īsajiem viļņiem, tāpēc mainās starojuma krāsa

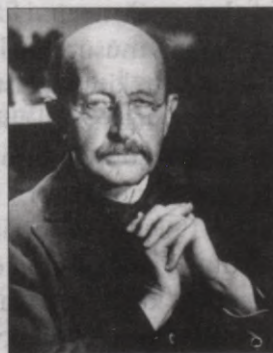
Termodinamiskais līdzsvars starp apkārtējo vidi un starojumu klasiskās fizikas ietvaros nav iespējams, jo visai enerģijai ir jāpāriet starojumā. Starojuma teorijā iestājās tā sauktā ultravioletā katastrofa.

3. 2. Planka formula

Neraugoties uz zināmiem panākumiem siltumstarojuma teorijas pētījumos, universālā enerģijas spektrālā sadalījuma funkcija nebija zināma. Lummers un Vīns 1895. gadā izveidoja absolūti melna ķermeņa modeli dobuma veidā, kur starojumu varēja novērot caur nelielu atveri. Divus gadus vēlāk Lummers un Pringsheims eksperimentāli ieguva absolūti melna ķermeņa starojuma sadalījumu viļņu garumu skalā.

Ievērojot iepriekšējo teorētisku neveiksmes, vācu fiziķis Makss Planks (1858 – 1947), kurš 1889. gadā arī sāka nodarboties ar melna ķermeņa teorētisku izpēti, nolēma, ka šādā situācijā lietderīgāk pievērsties reālākam un pieticīgākam uzdevumam. Tā vietā, lai teorētiski pamatotu spektrālā sadalījuma formulu un pēc tam salīdzinātu to ar eksperimentu, Planks savāca eksperimenta rezultātus, kas tajā laikā jau bija sakrājušies ievērojamā daudzumā, un apkopoja tos visus empīriskā formulā. Pēc tam Planks iegūto formulu centās teorētiski pamatot

1899. gadā vācu fiziķis Frīdrihs Pašēns (1865 – 1947), bet nākamajā gadā Oto Lummers un Ernsts Pringsheims pārbaudīja un konstatēja, ka Vīna likums ir pietiekami precīzs spektra īsajiem viļņiem, bet Releja – garajiem viļņiem. Balstoties uz to, Planks nolēma atrast tādu empīrisku formulu, kura īsajos viļņos sakristu ar Vīna formulu. Releja formula Plankam vēl nebija



Makss Planks
(1858 – 1947)

zināma. Rakstā "Labojums Vīna spektrālajam vienādojumam", kuru Planks iesniedza Berlīnes Zinātņu akadēmijā 1900. gada novembrī, autors norāda, kādā veidā sasniedzams vēlams rezultāts un iegūstama saskaņa ar eksperimentu jebkuram viļņu garuma rajonam. Viņš rakstīja: "Pat tad, ja starojuma formula izrādītos pilnīgi precīza, tai būtu ļoti ierobežota nozīme vienīgi kā veiksmīgi piemeklētai interpolācijas izteiksmei. Tāpēc es kopš šīs formulas uzrakstīšanas esmu izvirzījis sev uzdevumu piešķirt tai reālu fizikālu nozīmi. Šis jautājums noveda mani pie varbūtības un entropijas savstarpējās sakarības pētīšanas, t. i., pie Bolcmaņa domu gaitas. Pēc vairāku nedēļu saspringtākā darba visā manā dzīvē tumsa izklīda un atausa gaisma."



Fridrihs Pašēns
(1865 – 1947)

Spektrālā sadalījuma formulas pamatošanā liela loma bija Bolcmanim. Kad Planks informēja Bolcmani par savām pirmajām neveiksmēm starojuma formulas meklējumos, Bolcmanis atbildēja, ka pareizu siltumstarojuma teoriju nevarēs izveidot, neizmantojot starojuma pārtrauktības ideju.

No matemātiskā redzes viedokļa, Planks siltumstarojuma teorijā izdarīja tikai vienu būtisku izmaiņu, salīdzinot to ar Releja siltumstarojuma teoriju. Integrāli, kurš kļūst bezgalīgs, samazinoties viļņu garumam, Planks nomainīja ar diskrētu locekļu summu, kuri sakārtoti tā, lai summa vienmēr būtu galīga. Visā pārējā Planka darbs bija pilnīgā saskaņā ar klasiskās fizikas formālismu. Lai izskaidrotu iegūto empīrisko formulu, Plankam nācās fizikāli pamatot divas konstantes. Pirmo konstanti pamatot nebija grūti. Tā bija proporcionalitātes koeficients starp entropiju un varbūtību. Planks ieteica šo konstanti nosaukt Bolcmaņa vārdā, kaut gan, pēc Planka vārdiem, "Bolcmanis nekad nav ieviesis šo konstanti un vispār nerūpējās par tās skaitliskās vērtības noteikšanu". Šīs konstantes vērtība ir $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$.

Otrās konstantes h , kuru Planks nosauca par elementāru akcijas kvantu, pamatošana prasīja lielākas pūles. Šī konstante "vai nu ir fiktīvs lielums, bet starojuma likuma izvedums principā ir maldīgs, tas ir tikai tukša rotaļa ar formulām, kurai nav jēgas, vai arī starojuma likuma izvedums balstās uz fizikālu realitāti, un tad akcijas kvants iegūst fundamentālu nozīmi fizikā un nozīmē kaut ko pilnīgi jaunu un nedzirdētu, kam jāizraisa apvērsums mūsu fizikālajā domāšanā, kas kopš laikiem, kad Leibnics un Ņūtons atklāja diferenciālrēķinus, balstās uz visu cēloņsakarību nepārtrauktības hipotēzi".

Atklājuma fizikālā būtība slēpjas pieļāvējumā, ka katrs lineārs oscilators, kuru apņēma absolūti absorbējošs dobums, var izstarot enerģiju tikai ar pārtraukumiem – kvantiem $h\nu$, kur ν ir oscilatoru pašvārstību frekvence, h – akcijas kvants, kura vērtība pēc tā laika (1900. g.) eksperimentālo datu rezultātiem bija $6,548 \cdot 10^{-27} \text{ erg}\cdot\text{s}$. Šo konstantes vērtību Planks publicēja darbā "Enerģijas sadalījuma likums normālā starojuma spektrā", kuru 1900. gada 14. decembrī iesniedza Berlīnes Zinātņu akadēmijā. Planka formulas pieraksts frekvenču skalā ir:

$$f(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

No šīs izteiksmes izriet gan Stefana – Bolcmaņa formula, gan arī Vīna pārbīdes likums. Augstām frekvencēm tā pāriet Vīna formulā, bet zemām frekvencēm – Releja – Džinsa formulā. Franču fiziķis Luijs Debroljī (1892 – 1987), daļiņu viļņu dabas atklājējs, Planku raksturo šādi: “Var tikai sajūsmināties par Planka ģenialitāti, kurš, pētot atsevišķu fizikālu parādību, bija spējīgs atminēt vienu no pašiem svarīgākajiem un vismīklainākajiem dabas likumiem... Diena, kad tika ieviesta Planka konstante, paliks par vienu no ievērojamākajiem datumiem cilvēku domas attīstības vēsturē.” 1918. gadā Plankam par šiem atklājumiem piešķīra Nobela prēmiju. Turpmāk kvanta hipotēze guva arvien jaunus pierādījumus un noteica 20. gadsimta fizikas attīstības raksturu.

Bet sākumā Planka kvantu hipotēzi vairākums fiziķu uzņēma vēsi. Vienīgi Bolcmanis apsveica Planku ar panākumiem. Pats Planks stipri pārdzīvoja atteikšanos no pierastajiem klasiskajiem priekšstatiem par enerģijas apmaiņas nepārtraukto dabu. Enerģijas starošanas parādības pilnīgam aprakstam vēl nepieciešams paskaidrojums, kā šīs enerģijas vienības (tā kvantus dēvēja gadsimta sākumā) izplatās telpā. Ir divas iespējas. Vai nu šie enerģijas elementi pēc izstarošanas turpina saglabāt savu individualitāti un arī izplatīšanās laikā koncentrēti telpas elementos, vai arī katra enerģijas vienība arvien vairāk izkliedējas telpā, attālinoties no starojuma avota.

Alberts Einšteins (1879 – 1955), kurš pirmais no fiziķiem izmantoja Planka hipotēzi un ilustrēja tās lomu citu fizikas problēmu risināšanā (fotoefekts, fotoķīmija u. c.), tēlaini raksturoja izveidojušos situāciju. Einšteins sacīja: “Ja alu vienmēr pārdod pudelēs, kuras tilpums ir pinte, tad no šejienes nebūt neizriet, ka alus sastāv no tālāk nedalāmām porcijām, kas vienādas ar pinti.” Pēdējais pieņēmums ir jāpierāda.

Pirmā iespēja nav savienojama ar klasisko optiku, kas pamatojas uz gaismas un siltuma viļņu teoriju. Planks, kam nācās izteikt pašu revolucionārāko fizikas teoriju mūsdienās, nebija ar revolucionāru noslieci. Viņa uzskati bija visai konservatīvi, tādēļ viņš izvēlējās otru iespēju. Planks pieļāva, ka gaismas izstarošana un absorbcija ir diskreti procesi, tie notiek kvantiem, bet pats starojums ir nepārtraukts, kā tas tika uzskatīts laika periodā no Junga un Frenela līdz Maksvelam un Hercam. Tikai Einšteins 1905. gadā ieteica postulēt enerģijas elementa individualitāti. Pret šo Einšteina hipotēzi Planks ilgus gadus kategoriski iebilda.

Termiskā starojuma likumus plaši izmanto sakarsētu ķermeņu temperatūras noteikšanai. Vienkāršākajā gadījumā temperatūru var orientējoši noteikt pēc starojuma krāsas. Palielinot temperatūru, starojuma krāsa mainās no sarkanās uz oranžu, tad uz baltu. Par baltu mēs pieņemam Saules gaismas krāsu, kas tiek izstarota 6000 K augstā temperatūrā. Precīziem mērījumiem izmanto speciālus pirometrus, kuru darbības pamatā ir Stefana – Bolcmaņa, Vīna vai Planka formula.

3. 3. Fotoefekta likumības. Elektronu atklāšana

Zinātnieki ilgu laiku nevarēja izskaidrot, kāpēc fotoelektronu enerģija nesamazinās, ja gaismas avotu attālina no metāla plāksnītes, kuru izmanto fotoelektronu iegūšanai. Pēc gaismas viļņu teorijas principiem, attālinot gaismas avotu, samazinās krītošās enerģijas blīvums. Tātad jā sagaida arī emitēto elektronu enerģijas samazināšanās. No viļņu teorijas viedokļa, fotoefektu varētu skaidrot šādi. Gaisma izraisa elektrona uzspiestās svārstības.

Ja iestājas rezonanse starp elektronu pašsvārstību periodu un gaismas viļņa periodu, elektrons var tik stipri iesvārstīties, ka tiek atrauts un emitēts no metāla virsmas. No šā redzes viedokļa, enerģija elektronam, kurš atstāj metālu, ir proporcionāla gaismas intensitātei. Bet Aleksandrs Stoļetovs eksperimentāli konstatēja, ka fotoelektronu enerģija nav atkarīga no gaismas intensitātes. Tā ir lineāri atkarīga tikai no starojuma svārstību frekvences. No intensitātes ir atkarīgs tikai atbrīvoto elektronu skaits.

Alberts Einšteins 1905. gadā, izmantojot kvantu hipotēzi, veiksmīgi spēja izskaidrot fotoefektu. Attīstot tālāk Planka ideju, Einšteins pieņēma, ka emitētie kvanti, kuru enerģija ir $h\nu$, arī pēc emisijas izturas kā patstāvīgi fizikāli objekti. Protams, ka tādā gadījumā šo kvantu enerģija nav atkarīga no attāluma līdz gaismas avotam. Katrs kvants, ko absorbē metāls, atdod savu enerģiju elektronam. Ja kvanta enerģija ir pietiekami liela, tad elektrons var atstāt metālu. Ja saņemtā enerģija ir lielāka par metāla izejas darbu, tad elektrons iegūst vēl arī kinētisko enerģiju, kuras lielums ir lineāri atkarīgs no gaismas frekvences. Šo sakarību var izteikt ar fotoefekta vienādojumu:

$$h\nu = A + m_e v^2/2,$$

kur A – izejas darbs, m_e – elektrona masa, v – ātrums. Ja frekvence ir mazāka par robežvērtību $\nu_{\text{rob}} = A/h$, tad fotoefekts nenotiek. Elektromagnētiskā starojuma kvantam izmanto arī citu nosaukumu – fotons. Tas atvasināts no grieķu vārda “*photos*”, kas nozīmē gaismu. Terminu “fotons” 1929. gadā ieviesa amerikāņu fiziķis un ķīmiķis H. Lūiss.

Hilberts Lūiss (1875 – 1946) kopš 1912. gada strādāja Kalifornijas universitātē par profesoru. Galvenie darbi fotoķīmijā. Laikā no 1912. gada līdz 1916. gadam Lūiss attīstīja ķīmiskās saites elektronu teoriju: izskaidroja homeopolāro un jonu saiti. 1933. gadā Lūiss kopā ar R. Makdonaldu pirmoreiz ieguva smago ūdeni un izdalīja no tā deitēriju.

Interesanta ir kāda Lūisa rakstura īpašība, par kuru liecina šāds fakts. Studenti bija panākuši sev tiesības kārtot eksāmenus rakstiski bez pasniedzēja klātbūtnes. Lūiss dokumentāli pierādīja, ka 90% atbilžu bija norakstītas. Universitātes senāts nolēma, ka katram studentam darba beigās jāpieraksta frāze par to, ka viņš ar Amerikas pilsoņa godu garantē, ka atbilžu gatavošanas procesā nav izmantoti palīglīdzekļi. Kad Lūiss pierādīja, ka pieraksts maz mainījis eksāmenu norisi, senāts nonāca sašutumā: Lūiss bija aizskāris ASV cieņu, apgalvojot, ka amerikānis var vieglprātīgi attiekties pret savu ASV pilsoņa godu.

Jau pirms gaismas kvantu struktūras konstatēšanas bija norādes, ka arī elektrība sastāv no elementārļādiņiem. Tas izrietēja no Faradeja elektrolīzes pētījumiem. Svarīga vieta elektrības diskrētās struktūras noskaidrošanai bija strāvas pētījumiem gāzēs. Rentgenstaru atklāšana pievērsa angļu fiziķa Džozefa Džona Tomsona (1856 – 1940)



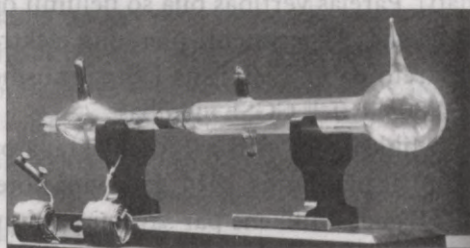
Alberts Einšteins
(1879 – 1955)

uzmanību gāzislādes pētījumiem, kas izklāstīti viņa 1903. gadā izdotajā monogrāfijā. 1897. gadā, pētot katodstaru novirzi elektriskajā un magnētiskajā laukā, Tomsons pierādīja, ka katodstari ir negatīvi lādētu daļiņu plūsma. Pakļaujot katodstarus elektriskā un magnētiskā lauka iedarbībai, Tomsons noteica atklāto daļiņu lādiņa un masas attiecību: e/m . Šī attiecība nebija atkarīga no gāzes dabas caurulē un tūkstoškārt pārsniedza ūdeņraža jona e/M vērtību, kas bija iegūta no elektrolyzes datiem. Šo pētījumu laikā atklāja elektrības elementārdaļiņu, kuru Tomsons nosauca par korpuskulu. Taču šis termins neguva popularitāti un jaunatklātās daļiņas nosauca par elektroniem. Šo nosaukumu 1891. gadā ieteicis angļu zinātnieks Dž. Stoni vienvērtīgā jona lādiņa apzīmēšanai. Grieķu valodā “elektron” nozīmē dzintars.

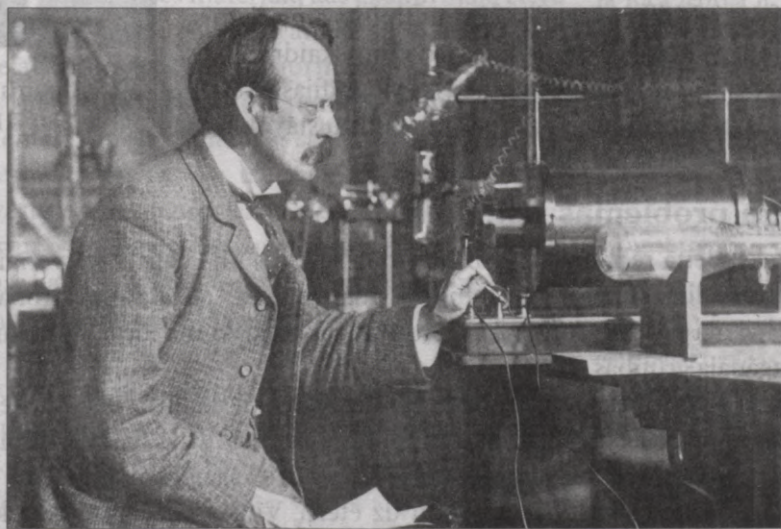


Džozefs Džons Tomsons
(1856 – 1940)

Tomsons izmērīja šo daļiņu masu un konstatēja, ka tā ir 1837 reizu mazāka par ūdeņraža atoma masu. Jaunais priekšstats par elektronu ļāva viņam 1903. gadā izvirzīt vienu no pirmajiem atoma modeļiem. Pēc Tomsona domām, atoms ir ļoti maza sfēra, kuras diametrs ir ap 10^{-8} cm. Šajā sfērā vienmērīgi sadalīts pozitīvais lādiņš, kurā “peld” negatīvie elektroni. Elektronu summārais lādiņš vienāds ar sfēras pozitīvo lādiņu. Tomsons par šo atklājumu ziņoja Londonas Karaliskajā



Dž. Dž. Tomsona iekārtas e/m noteikšanai
fotogrāfija



Dž. Dž. Tomsons Kavendiša laboratorijā

biedrībā un atceras, ar kādu neticību tas ticis uzņemts. 1904. gadā Tomsons izvirzīja domu, ka elektroni dalās grupās, veidojot dažādas konfigurācijas, kas nosaka ķīmisko elementu īpašību periodiskumu. 1906. gadā Tomsons saņēma Nobela prēmiju.

1906. gadā amerikāņu fiziķis Roberts Milikens (1868 – 1953) izstrādāja pilienu metodi elektriskā lādiņa noteikšanai. Laika periodā no 1910. gada līdz 1914. gadam viņš veica daudz eksperimentu, izmantojot eļļas pilieniņus, kuri atradās līdzsvarā starp plakana kondensatora platēm. Uz eļļas pilieniņiem varēja konstatēt tikai elektriskā lādiņa diskrētas vērtības, no kurām mazākā bija $4,891 \cdot 10^{-10}$ CGSE vienības (1910. g. dati) vai $4,774 \cdot 10^{-10}$ CGSE (1913. g. dati). Pārējās vērtības bija šo lielumu daudzkārtņi. Milikena eksperimenti pierādīja elektrisko lādiņu diskrēto dabu. Elektrona lādiņa mūsdienu vērtība ir $4,8032 \cdot 10^{-10}$ CGSE vienības.

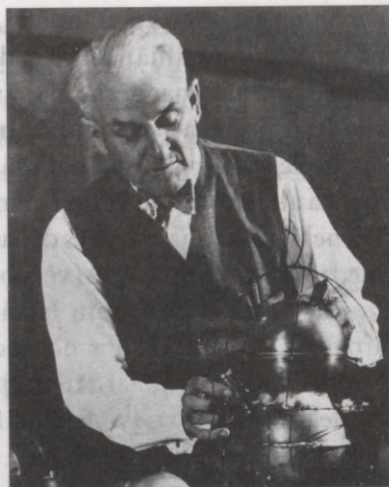
Milikens ir veicis arī fotoefekta, atomfizikas un spektroskopijas pētījumus. 1914. gadā viņš noteica Planka konstanti. 1923. gadā Milikens par saviem pētījumiem saņēma Nobela prēmiju.

Milikena personību labi raksturo kāds atgadījums, kuru atstāsta akadēmiķis Abrams Jofe. Milikens reiz apsoliņis nolasīt Briseles universitātē lekciju par amerikāņa psiholoģiju. Uz lekciju, lai parādītu godu augstajam viesim, sanākuši gandrīz vai visi profesori. Milikens sacījis: “Esmu tipisks amerikānis, un amerikāņu psiholoģija jums kļūs pavisam skaidra, ja es izstāstīšu par sevi.” Tam sekojis sistemātisks biogrāfijas atstāsts, kas noslēdzies ar paziņojumu par to, kādu augstu stāvokli un atalgojumu tam izdevies sasniegt.

3. 4. Ētera problēmas risinājums

No iepriekš sacītā redzams, ka 20. gadsimta sākums bija bagāts ar svarīgiem atklājumiem. Tika izklīdināts arī viens no Tomsona “mākonīšiem”. Sakarā ar elektrona atklāšanu un gaismas kvanta postulēšanu fizikā nostiprinājās diskrētuma ideja. Otra “mākonīša” problēma sagādāja grūtības.

Maikelsona – Morli eksperimenta rezultātus varēja izskaidrot pēc Einšteina darba “Par kustīgu ķermeņu elektrodinamiku” publicēšanas 1905. gadā. Šajā darbā bija iztirzāti speciālās relativitātes teorijas pamati. Atšķirībā no priekšgājējiem, Einšteins neveidoja hipotēzes par ķermeņu kustības iespaidu uz ēteru. Viņš atteicās no ētera kā fizikāla objekta. Einšteins speciālo relativitātes teoriju veidoja uz divu postulātu bāzes.



Roberts Milikens
(1868 – 1953)



Abrams Jofe
(1880 – 1960)

- Visas fizikālās parādības inerciālās atskaites sistēmās pie vienādiem sākumnosacījumiem norisinās vienādi. Tas, ka netiek atklāts “ētera vējš”, liecina par to, ka nepastāv absolūta atskaites sistēma un relativitātes principu var izmantot elektrodinamikā.
- Gaismas ātrums tukšumā visās inerciālās atskaites sistēmās ir vienāds, turklāt tas ir vienāds visos virzienos un nav atkarīgs no gaismas avota vai novērotāja kustības ātruma.

Visi nepieņēma šos Einšteina postulātus. Visvairāk iebildumu izraisīja otrs postulāts. Jāpiebilst, ka Maikelsona – Morli eksperiments vispārīgā gadījumā šo postulātu neapstiprina. Minētajā eksperimentā gaismas avots ir nekustīgs attiecībā pret novērotāju, un eksperiments nevar liecināt par gaismas ātruma atkarību vai neatkarību no gaismas avota un novērotāja kustību. Daudz pūļu šā jautājuma noskaidrošanai veltīja Keisa skolas profesors Deitons Millers (1866 – 1941). Viņš kopš 1897. gada sākumā kopā ar Morli, pēc tam viens pats gandrīz 30 gadus centās saglabāt ētera hipotēzi. Daži viņa eksperimenti deva iegānu apšaubīt speciālo relativitātes teoriju. Tie vēlāk izrādījās kļūdaini.

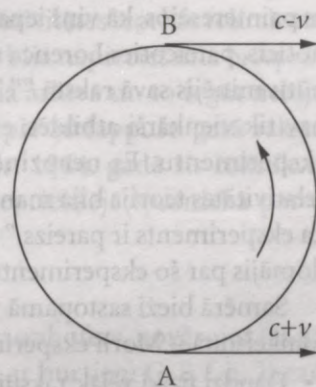
1908. gadā austriešu fiziķis Valters Rics (1878 – 1909) izvirzīja tā saukto “ballistisko hipotēzi”. Saskaņā ar to ātrums gaismai, ko emitē kustīgs starotājs, ir lielāks (vai mazāks) par gaismas ātrumu no nekustīga starotāja. 1913. gadā holandiešu astronoms Vilems Siters (1872 – 1934) šo Rica uzskatu atspēkoja, pamatojoties uz astronomiskajiem dubultzvaigžņu novērojumiem.

R. Tomašeks 1923. gadā izdarīja mērījumus pēc Maikelsona – Morli shēmas, izmantojot kosmiskus objektus par gaismas avotiem. “Ētera vēju” nekonstatēja. 1927. gadā Vilsona kalna observatorijā notika konference, kurā piedalījās Maikelsons, H. Lorencs, Millers, Kenedijs, Čedviks, Epšteins u. c. Konferencē materiāli, kas apstiprināja ētera hipotēzes nepamatotību, parādījās atklātībā 1928. gadā un veicināja relativitātes teorijas nostiprināšanos.

Maikelsona – Morli eksperimentam bija liela nozīme ētera problēmas risināšanā plašākas sabiedrības apziņā. Par to, kādu iespaidu tas atstāja uz pašu Einšteinu, liecina Einšteina vēstule amerikāņu vēsturniekam Davenportam.

“Jau pirms Maikelsona darba,” rakstīja Einšteins, “bija ļoti zināms, ka eksperimenta kļūdu robežās nenovēroja koordinātu sistēmas kustības iespaidu uz fizikālajiem procesiem un atbilstoši uz to likumiem. H. A. Lorencs pierādīja, ka to var izskaidrot uz Maksvela teorijas pamata visos gadījumos, kad var neievērot sistēmas ātruma otrās pakāpes (t. i., pirmās kārtas efektus).

Taču, vadoties pēc šīs teorijas, varēja sagaidīt, ka šāda neatkarība nebūs otrās un augstākas kārtas efektiem. Lielākais Maikelsona nopelns bija tas, ka viņš vienā gadījumā spēja pilnīgi noteikti parādīt, ka sagaidāmais otrās kārtas efekts *de facto* nepastāv. Šis



Ja Rica teorija ir pareiza, tad gaisma no zvaigznes, kas atrodas punktā A, nonāk līdz Zemei pēc brīža $L/(c + v)$, bet no punkta B pēc laika $L/(c - v)$, kur L – attālums līdz Zemei. Aplūkojot dubultzvaigzni no Zemes, vajadzētu novērot atkāpes no Keplera likuma. Siters atkāpes nenovēroja, kas liecināja pret zvaigznes un gaismas kustības ātruma šaskaitīšanas hipotēzi

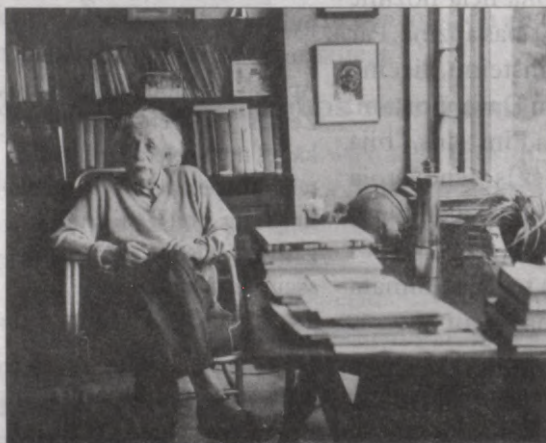
Maikelsona darbs, vienādā mērā ievērojams kā pēc drosmes un uzdevuma formulēšanas skaidruma, tā arī pēc izgudrospējas, ar kuru bija sasniegta nepieciešamā, ļoti augstā mērījumu precizitāte, veido nenovecojošu ieguldījumu zinātnē. Šis ieguldījums bija stiprs arguments tam, ka nepastāv "absolūtā kustība", tādējādi apstiprinot relativitātes principu, kurš nekad kopš Ņūtona laikiem netika apšaubīts mehānikā, bet šķita nesavietojams ar elektrodinamiku.

Kad es attīstīju savu teoriju, Maikelsona rezultāts mani manāmi neiespaidoja. Es pat nevaru atcerēties, vai es vispār par to zināju, kad es rakstīju savu pirmo darbu par speciālo relativitātes teoriju (1905. g.). Tas vienkārši skaidrojams ar to, ka es biju pilnīgi pārliecināts, ka nekādas absolūtas kustības nepastāv, un mans uzdevums bija saskaņot šo apstākli ar to, kas zināms elektrodinamikā. No šejienes var saprast, kāpēc manos pētījumos Maikelsona eksperimentam nebija nekādas nozīmes, vismaz tam nebija izšķirošas nozīmes..."

Šenklands, aprakstot savu tikšanos ar Einšteinu 1950. gada 4. februārī, rakstīja: "Kad es paaugstinājos, kā viņš iepazīnās ar Maikelsona – Morli eksperimentu, viņš sacīja, ka tas noticis, pateicoties Lorenca rakstiem, tikai pēc 1905. gada. "Citādi," viņš sacīja, "es par to būtu minējis savā rakstā." Tikšanās reizē 1952. gada 24. oktobrī Einšteins sacīja: "Uz to nav tik vienkārši atbildēt; es precīzi neatceros, kad pirmoreiz uzzināju par Maikelsona eksperimentu. Es neapziņos, ka tas būtu mani iespaidojis tos septiņus gadus, kad relativitātes teorija bija mana dzīve. Acīmredzot es uzskatīju kā pašu par sevi saprotamu, ka eksperiments ir pareizs." Pēc tam Einšteins piebilda, ka 1905. – 1909. gadā viņš daudz domājis par šo eksperimentu un to apspriedis ar Lorencu un citiem fiziķiem."

Samērā bieži sastopamā viedokļa pamatā, ka relativitātes teorijas izveide ir saistīta ar Maikelsona – Morli eksperimenta negatīvā rezultāta skaidrošanu, varētu būt divi fakti.

- Daudzi fiziķi vēlāk rakstīja, ka pieņemt relativitātes teoriju viņus ierosināja tas, ka Maikelsona – Morli eksperimenta negatīvā rezultāta skaidrojums šajā teorijā bija vienkāršs, neraugoties uz jauno priekšstatu uztveres grūtībām.



Einšteins kabinetā



Einšteins atpūtā

- Otrs ir didaktiska rakstura cēlonis. Mācību grāmatu un pārskatu rakstu autori visbiežāk relativitātes teoriju centās skaidrot, atsaucoties uz eksperimentu ar “ētera vēju”. Šādam paņēmienam, no “vesela saprāta” viedokļa, vajadzēja atvieglot relativitātes teorijas paradoksālo secinājumu uztveri. Tādā veidā, kaut arī, Einšteinam izveidojot teoriju, Maikelsona – Morli eksperimenta rezultātiem nebija būtiskas nozīmes, plašākai sabiedrībai šis eksperiments bija svarīgs, lai sagatavotos fizikas pamatjēdzienu radikālai izmaiņai.

1905. gadā žurnālā “Anallen der Physik” 17. sējuma 5. burtnīcā tika nodrukāts Einšteina raksts “Par kustīgu ķermeņu elektrodinamiku”. Tas kļuva par nenovērtējamu vēsturisku dokumentu. Ar šo Einšteina rakstu saistīta kāda epizode 20. gadsimta traģiskajos notikumos. 1933. gada sākumā Vācijā pie varas nāca Hitlers. Einšteins šajā laikā lasīja lekcijas Kalifornijā. Einšteina māja Potsdamas tuvumā tika sagrauta. 54 gadus vecais Einšteins mājvietu atrada Prinstonas universitātes pilsētiņā. 1936. gadā, kad Spānijā notika karš, amerikāņu brīvprātīgie formēja bataljonu “Ābrams Linkolns”. Organizatori vērsās pie Einšteina ar negaidītu lūgumu. Viņi lūdza relativitātes teorijas rokrakstu. Kolekcionāri bija gatavi par to samaksāt milzīgu naudu, kas bija nepieciešama brīvprātīgo bataljona materiālai apgādei. Rokraksts atradās žurnāla arhīvā un to iegūt nebija iespējams, tāpēc Einšteins atlika iesāktos darbus un ķērās pie 30 lappušu garā raksta pārrakstīšanas. Tā tapa šā ievērojamā raksta otrs oriģināls. 1944. gadā šis rokraksts nokļuva ASV Kongresa bibliotēkā. Tas tika atpirkts no iepriekšējā īpašnieka par 6 miljoniem dolāru. Taču tas jau bija biznesa darījums.

3. 5. Ūdeņraža atoma spektrs

Ūdeņraža spektra redzamās līnijas pirmais izmērija J. Fraunhofers, novērojot tās kā absorbcijas līnijas Saules spektrā. Fraunhofers tās apzīmēja ar burtiem C, F, f, h. Tagad tās apzīmē ar H_{α} , H_{β} , H_{γ} un H_{δ} . Šo līniju attālums spektrā citai no citas, izteikts viļņu skaitļos, pakļaujas vienkāršai likumībai, kuru H. Hagenbaha iegūtajos spektros atklāja Bāzeles universitātes pasniedzējs J. Balmers. Viņš šo sakarību izteica tik ideālā formā, ka vēlāk tika izdarīti tikai nelieli precizējumi. Balmers atklāja, ka līniju H_{α} , H_{β} , H_{γ} , H_{δ} viļņu garumus var izteikt ar kādu skaitli B šādā formā:

$$B \cdot 9/5; B \cdot 4/3 = B \cdot 16/12; B \cdot 25/21; B \cdot 9/8 = B \cdot 36/32.$$

Šo daļskaitļu skaitītājos Balmers ieguva veselu skaitļu kvadrātu secību $3^2; 4^2; 5^2; 6^2$, bet saucējos kvadrātu starpības $3^2 - 2^2; 4^2 - 2^2; 5^2 - 2^2$ un $6^2 - 2^2$. Pēc tam, kad bija atrasts skaitlis B , Balmera formula ieguva šādu formu:

$$\lambda = 3645,6 \cdot m^2 / (m^2 - n^2).$$

Šajā formulā m un n ir veseli skaitļi: $n = 2, m = 3; 4; 5; 6$, atbilstoši līnijām $H_{\alpha}, H_{\beta}, H_{\gamma}$ un H_{δ} , ja viļņu garums izmērīts angstrēmās. Rīdbergs šo formulu nedaudz pārveidoja:

$$1/\lambda = \nu = R_H (1/2^2 - 1/m^2),$$

kur ν – frekvence, izteikta viļņu skaitļos (cm^{-1}), R – Rīdberga konstante, $R_H = (4/B) \cdot 10^8 = 109\,677,8 \text{ cm}^{-1}$.

Savu atklājumu Balmers publicēja 1885. gadā. Redzamajā spektra daļā atrodas jau minētās četras līnijas, kuru viļņu garumi ir $6562,8 \text{ \AA}; 4861,33 \text{ \AA}; 4340,47 \text{ \AA}$ un $4101,74 \text{ \AA}$. Sākotnēji laboratorijas apstākļos ieguva 9 šīs sērijas līnijas. Nedaudz vēlāk Viljams

Haginss Sīriusa spektrā atklāja vēl 5 līnijas. Visu šo līniju viļņu garumi atbilda Balmera formulai:

$$\lambda = 3645,6 \cdot m^2 / (m^2 - 4), \text{ kur } m = 3; 4; 5; 6 \dots$$

Konstanti 3645,6 aprēķināja pēc pirmām četrām Balmera sērijas līnijām, un tā izsaka sērijas robežas viļņa garumu angstrēmos. Nilss Bors sērijas tālo līniju iztrūkumu spektrā skaidroja ar to, ka tālajām orbitām nav vietas izlādes caurulē, ja atomu diametri ir lielāki par attālumu starp atomiem. Lai novērotu sērijas tālos locekļus, ir jāpanāk ļoti zems spiediens. Izmantojot garas izlādes caurules, Roberts Vuds 1920. gadā nofotografēja 22 šīs sērijas līnijas laboratorijas apstākļos. Dažu zvaigžņu spektros ir novērotas 33 Balmera sērijas līnijas. Saules hromosfērā un protuberanču spektros ir izmērītas 37 līnijas.

Balmera formulai turpmāk izrādījās ļoti svarīga loma. Viens no spektroskopijas kvantu teorijas pamatlicējiem vācu fiziķis Arnolds Zommerfelds (1868 – 1951) uzskata, ka svarīgākais Balmera atklājums ir spektrālīniju viļņu skaitļu pieraksts ar divu termu starpību. No šejienes izriet, ka kvanta enerģiju var izteikt kā divu līmeņu enerģiju starpību. Valters Rics vispārināja Balmera ideju. Viņš 1908. gadā ieviesa kombinācijas principu. Rics rakstīja: “Ja ir dotas sēriju formulas un ir zināmas tajās ietilpstošās konstantes, tad, kombinējot summas vai starpības, var iegūt jaunu atklātu līniju no jau agrāk zināmām.”

Jau Balmeram radās jautājums, vai n nevar būt 3. Taču spektroskopija tajā laikā nespēja dot atbildi uz šo jautājumu. Balmers pieļāva, ka pastāv līnijas, kuru viļņu skaitļi ir:

$$v = R(1/3^2 - 1/4^2); v = R(1/3^2 - 1/5^2) \text{ u. c.}$$

Rics, pamatojoties uz kombinācijas principu, paredzēja šādu līniju eksistenci. Turklāt šīs sērijas pirmo līniju veido H_β un H_α viļņu skaitļu starpība.

Drīz pēc tam, 1908. gadā, vācu fiziķis Frīdrihs Pašēns (1865 – 1947), kas veica daudzu spektrālīniju precīzus mērījumus, atklāja šīs sērijas pirmās divas līnijas, kuru viļņu garumi ir 18751,3 Å un 12817,5 Å. Kļuva skaidrs, ka Balmera formula jāraksta šādā vispārīgā veidā:

$$v = R(1/n^2 - 1/m^2).$$

Pašēna sērijas nākamo līniju viļņu garumus 1922. gadā izmērija F. Brekets. Viņš atklāja arī nākamās sērijas pirmos locekļus, kuru viļņu garums $\lambda = 4,05 \mu\text{m}$ ($n = 4; m = 5$) un $\lambda = 2,53 \mu\text{m}$ ($n = 4; m = 6$). Šo sēriju, kura nes Breketa vārdu, 1927. gadā papildināja A. Petkers. 1924. gadā amerikāņu fiziķis Augusts Pfunds (1879 – 1949) atklāja IS rajonā ūdeņraža līniju $\lambda = 7,40 \mu\text{m}$ ($n = 5; m = 6$), kas ir Pfunda sērijas pirmais loceklis. Pēdējo Rihards Hamfrijs atklāja sēriju, kurai $n = 6, m = 7; 8; 9 \dots$ Šī sērija atrodas spektra vidējā IS daļā.



Roberts Vuds
(1868 – 1955)



Arnolds Zommerfelds
(1868 – 1951)

1906. gadā amerikāņu fiziķis Teodors Laimans (1874–1954) atklāja spektrālo sēriju, kuras pirmā līnija $\lambda = 1215,7 \text{ \AA}$ atrodas tālajā UV rajonā. Tās viļņu skaitlis $\nu = R(1/1^2 - 1/2^2)$. Laimans arī pirmais (1924. g.) uzbūvēja vakuuma spektrogrāfu, kur izmantots ieliekts difrakcijas režģis. Ar to varēja iegūt spektru līdz 25 nm. Turpmāko trīs gadu laikā tika aptverts viss ultravioleto staru diapazons līdz pat rentgenstaru rajonam.

Pirms Bora teorijas rašanās 1913. gadā ūdeņradim piedēvēja vēl divas sērijas:

$$\nu = R [1/(1,5)^2 - 1/m^2], m = 2; 3; 4; \dots$$

$$\nu = R [1/2^2 - 1/m^2], m = 2, 5; 3; 3, 5; \dots$$

Pirmo sēriju atklāja A. Faulers ūdeņraža un hēlija maisījumā, bet otro – 1897. gadā Edvards Pikerings zvaigznes Puppis ζ spektrā. Pikeringa atklātā sērija ļoti atgādināja Balmera sēriju. Līnijas, kas atbilda m pusvesela skaitļa vērtībām, novietojās starp Balmera līnijām. Pārējās līnijas gandrīz sakrita ar Balmera līnijām, tādēļ tās arī netika atšķirtas no pēdējām.

Lai arī kā zinātnieki centās šīs līnijas iegūt laboratorijas apstākļos, tas neizdevās. Tādēļ Pikeringa sēriju piedēvēja ūdeņradim, kas zvaigznēs atrodas specifiskos apstākļos. Beidzot šo sēriju izdevās iegūt laboratorijas apstākļos, taču, lai eksperiments būtu sekmīgs, ūdeņradim bija jāpiejauca hēlijs. Pēc tam pierādījās, ka šo sēriju var iegūt arī tirā hēlijā. Ar šīs sērijas vēsturi saistīta viena no spīdošākajām atoma uzbūves kvantu teorijas uzvarām. Un šo jautājumu atrisināja Bors, pieņemot, ka Pikeringa sērija nepieder ūdeņradim, bet gan jonizētam hēlijam, un Balmera formula jāraksta šādā formā:

$$\nu = 4R_{\text{He}} (1/4^2 - 1/m^2), m = 5; 6; 7; \dots$$

Vienkāršotā variantā pieņem, ka elektrons riņķo ap kodolu. Faktiski tā tas notiktu, ja kodola masa būtu bezgalīgi liela. Īstenībā elektrons un kodols riņķo ap kopējo masas centru. Tādējādi atoma enerģija mainās un izmainās arī Rīdberga konstante R .

$$R = R_{\infty} / (1 + m_e/M),$$

kur M – kodola masa, $R_{\infty} = 109\,737,3 \text{ cm}^{-1}$ – Rīdberga konstante, kas atbilst nekustīgam kodolam ($M = \infty$).

Ja R ir atkarīga no kodola masas, tad arī spektrālīniju frekvences ir atkarīgas no masas. Hēlija un ūdeņraža masu atšķirības dēļ Rīdberga konstante hēlijam $R_{\text{He}} = 109\,722,403 \text{ cm}^{-1}$ ir nedaudz lielāka par R_{H} . Tāpēc hēlija jona līnijas ir mazliet pārbīdītas mazāko viļņu garumu virzienā.

m	$\lambda_{\text{He}} (\text{\AA})$	$\lambda_{\text{H}} (\text{\AA})$
2,5	10126,6	–
3	6560,1	6562,8 (H_{α})
3,5	5411,6	–
4	4859,3	4861,3 (H_{β})
4,5	4561,6	–
5	4338,7	4340,5 (H_{γ})
5,5	4199,9	–
6	4100,7	4101,7 (H_{δ})

Nākamie ūdeņražveidīgie joni aiz He ir divkārsi jonizēts litijs Li^{++} ($Z = 3$) un trīskārsi jonizēts berilijs Be^{+++} ($Z = 4$). Šo jonu spektrālās sērijas apraksta formulas:

$$\nu = 9R_{\text{Li}} (1/n^2 - 1/m^2) \text{ un } \nu = 16R_{\text{Be}} (1/n^2 - 1/m^2).$$

Šo jonu Laimana sērijas ($n = 1$) pirmās līnijas izdevās atrast tālajā UV spektra daļā. To viļņu garumi attiecīgi ir 135,01 Å un 75,94 Å. Ļoti svarīgs ir fakts, ka vienam un tam pašam skaitlim Z , t. i., viena elementa atomiem ar atšķirīgām masām, spektrā parādīsies līnijas ar atšķirīgiem viļņu garumiem. Šo apstākli izmanto elementu izotopiskā sastāva analīzei.

Angļu fiziķis un ķīmiķis Frensiss Astons (1877 – 1945) mērija relatīvos atomsvarus ūdeņradim un skābeklim. Pateicoties precīziem mērījumiem, radās iespēja noteikt relatīvos atomsvarus, ievērojot, ka skābeklis sastāv no izotopa ar masas skaitli 16 un izotopu ar masas skaitļiem 17 un 18 neliela piemaisījuma. Aprēķinātie ūdeņraža un skābekļa relatīvie atomsvari atšķirās par 1/5000 no vērtībām, kas iegūtas tiešos fizikālos un ķīmiskos mērījumos. Berdžs un Mencels 1931. gadā norādīja, ka šo atšķirību var izskaidrot, ja pieņem, ka pastāv divi ūdeņraža izotopi ^1H un ^2H , kas ir attiecībā 4500:1.

Amerikāņu zinātnieki Harolds Juri (1893 – 1981), H. Merfi un F. Brikvids 1932. gadā veica eksperimentu sēriju ar ūdeņradi, lai atklātu ^2H , kura masas skaitlis ir 2. Viļņu garumu atšķirības pirmajām četrām Balmera sērijas līnijām ir 1,793 Å; 1,326 Å; 1,185 Å; 1,119 Å. Viņi izmantoja sfēriska difrakcijas režģa aparātu, kura dispersija bija 1,3 Å/mm. Pirmajā eksperimentā caurulē iepildīja parasto ūdeņradi un spektrā novēroja vāju pavadoņi līnijai H_{β} . Pieņemot, ka šo vājo līniju izraisījis neliels smagā ūdeņraža piejaukums, viņi nolēma sagatavot ūdeņradi ar lielāku deitērija piemaisījumu, tādējādi palielinot šīs līnijas relatīvo intensitāti. Parauga bagātināšanu ar deitēriju var panākt dažādā veidā. Juri ar kolēģiem izmantoja šķidro ūdeņradi, to iztvaicējot. Viegļās komponentes iztvaiko ātrāk par smagajām. Pārpalikumā iegūst lielu smagās komponentes koncentrāciju. Juri par deitērija atklāšanu 1934. gadā saņēma Nobela prēmiju ķīmijā.

Deitērija atklāšana veicināja tādu metožu izstrādi, lai to iegūtu lielākos daudzumos. Tagad deitēriju plaši izmanto ķīmijā, bioloģijā un fizikā. Bagātināšanai sekmīgi var izmantot ūdens elektrolīzi. Parastais ūdens sastāv no molekulu H_2O , HDO un D_2O maisījuma. Smagā un vieglā ūdens īpašības ievērojami atšķiras. D_2O blīvums ir par 11% lielāks, bet tā sasaldēšanas punkts par 3,8 °C un vārīšanās punkts par 1,4 °C augstāks nekā parastajam ūdenim. Viegļā ūdeņraža molekula H_2 izdalās uz katoda 5 – 6 reizes ātrāk par smagā ūdeņraža molekulu D_2 . Elektrolizē no 6 litriem parastā ūdens var iegūt 1 cm^3 tīra smagā ūdens. Citu izotopu bagātināšanas metodi ieteica vācu fiziķis Gustavs Hercs. Šī metode saistīta ar gāzes difūzijas koeficienta atšķirību izotopiem. Izmantojot šo metodi, var iegūt tīru deitēriju, ka spektrā neparādās parastā ūdeņraža līnijas.

3. 6. X staru atklāšana

1895. gada beigās Vircburgas profesors Vilhelms Konrāds Rentgens (1845 – 1923) eksperimentēja ar Kruksa caurulēm. Beidzot eksperimentu, Rentgens izslēdza gaismu, bet nebija izslēdzis induktoru, kas piegādāja spriegumu caurulei. Viņš ievēroja luminescējoša ekrāna, kurš atradās iekārtas tuvumā, mirdzēšanu. Rentgens sāka eksperimentēt ar Kruksa caurulēm un ekrānu.

Savā pirmajā darbā “Par jauna veida stariem” 1895. gada 28. decembrī Rentgens rakstīja: “Papīra gabals, kas pārklāts ar bārija rodanīdu, tuvinot to caurulei, kas noslēgta ar pietiekami blīvi piegulošu apvalku no plāna melna kartona, spoži iemirdzas katrā



Vilhelms Rentgens
(1845 – 1923)

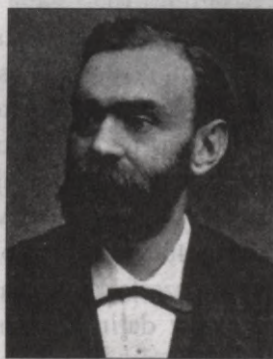
izlādē – sāk fluorescēt. Fluorescence ir redzama pietiekamā aptumšojumā un nav atkarīga no tā, vai papīru pietuvina ar to pusi, kas pārklāta ar bārija rodanīdu, vai ar to pusi, kura nav pārklāta ar bārija rodanīdu. Fluorescence vēl redzama divu metru attālumā no caurules.”



Plaukstas uzņēmums (1896. g.)

Pētījumi parādīja, ka kartons, kas ir necaurspīdīgs visiem pazīstamajiem stariem, laiž cauri kādu “aģentu”, kurš izraisa fluorescenci. Rentgens šo aģentu nosauca par X stariem un pēc kāda laika aprakstīja sensacionālu eksperimentu: “Ja starp izlādes cauruli un ekrānu ievieto roku, tad redzamas kaulu tumšās ēnas, ko aptver pašas rokas vāja ēna.” Rentgens konstatēja, ka “X stari nav identiski katodstariem, bet katodstari tos ierosina izlādes caurules stikla sienīņā”. Par šo atklājumu 1901. gadā viņš ieguva Nobela prēmiju. Rentgens kļuva par pirmo Nobela prēmijas laureātu fizikā.

Alfreds Nobels (1833 – 1896) dzimis Zviedrijā. 1842. gadā, kad viņam bija 9 gadi, ģimene pārcēlās uz dzīvi Krievijā, kur viņa tēvs Imanuels Nobels centās realizēt savas idejas. 1842. gadā notika I. Nobela izgudrotās zemūdens mīnas izmēģinājums. Izgudrojumu par 25 000 rubļiem nopirka Krievijas valdība. Periodu no 1850. līdz 1851. gadam A. Nobels pavadīja ārzemēs, pārsvarā Parīzē, kur nodevās ķīmijas studijām. Krimas kara laikā (1853 – 1856) armijas pasūtījums strauji pieauga. Lielu daļu pasūtījumu izgatavoja fabrikā, par kuras īpašnieku bija kļuvis I. Nobels. Alfreds aizrāvās ar sprāgstvielu pētījumiem. Tie 1867. gadā vainagojās ar dinamīta atklāšanu, kura ražošana ienesa lielu peļņu. 1895. gadā A. Nobels sastādīja testamentu. Visu bagātību (33 miljonus zviedru kronu) viņš novēlēja īpašam fondam, kuru vēlāk nodēvēja par Nobela fondu



Nobela prēmijas fizikā un ķīmijā medaļas attēls

Tūlīt pēc atklāšanas X starus sāka izmantot rentgendiagnostikā. Angļu fiziķis Maksvela skolnieks Arturs Šusters (1851 – 1934) rakstīja: “Manu laboratoriju pārpludināja ārsti, kas veda pacientus, kuriem bija aizdomas, ka viņiem ir adatas dažādās ķermeņa daļās.”

3. 7. Rezerforda – Bora atoma modelis

Ernests Rezerfords (1871 – 1937), kurš uzaudzis un izglītību ieguvis Jaunzēlandē, kļuva pasaulē slavens ar atoma uzbūves pētījumiem. Rezerforda zinātniskās darbības sākums sakrita ar X staru atklāšanas laiku.

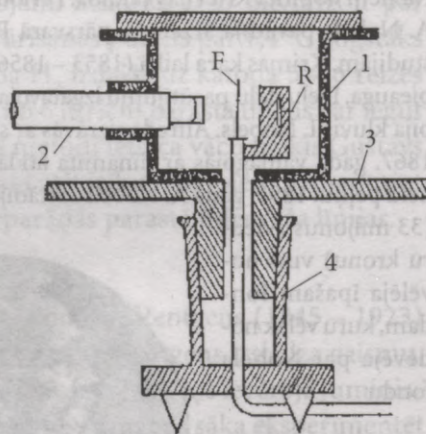
X staru atklāšana, pēc Rezerforda vārdiem, gan pati par sevi, gan arī seku ziņā atstāja milzīgu iespaidu uz zinātnes progresu. Vēlāk šo gadu viņš nosauca par robežu starp veco klasisko un jauno fiziku. Zīmīgi, ka fizikas progresā milzīga loma bija pašam Rezerfordam, izvirzot jaunas idejas atoma uzbūves jautājumos. Novērojot α daļiņu izkliedi atomos, Rezerfords konstatēja, ka atoms “sastāv no centrālā elektriskā lādiņa, kas ir koncentrēts punktā un ko aptver vienādi liels pretējās elektrības sfērisks sadalījums”. Šo faktu 1911. gadā Rezerfords darija zināmu Mančestras filozofiskajā biedrībā. Bet jau pirms tam zinātnieks bija nogājis garu pētnieciskā darba ceļu. Laikā no 1895. līdz 1898. gadam viņš strādāja Kavendiša laboratorijā Dž. Tomsona vadībā. Pēc tam no 1898. gada līdz 1907. gadam bija profesors Kvebekas universitātē Kanādā. 1907. gadā Rezerfords atgriezās Anglijā un ieņēma profesora vietu Mančestras universitātē un fizikas laboratorijas direktora posteni. Kopš 1919. gada viņš bija Kembridžas universitātes profesors un Kavendiša laboratorijas direktors.

Rezerfords Mančestras universitātē izveidoja aparāturu α daļiņu pētījumiem. Pētījumi tika uzsākti 1908. gadā, kad Vīnes Zinātņu akadēmija atsūtīja 400 mg rādija (par to samaksāja 3000 mārciņu). Rezerfords un Hanss Geigers (1882 – 1945) uzsāka α daļiņu novērošanu pēc to izraisītām scintilācijām uz cinka sulfida ekrāna. Rezerfords uzskatīja, ka scintilāciju novērošana uz cinka sulfida ekrāna ir ļoti ērts α daļiņu skaitīšanas veids, ja pieņem, ka katra α daļiņa, saduroties ar ekrānu, izraisa uzliesmojumu. Eksperimenti Mančestras universitātē pārlicināja Rezerfordu, ka katra scintilācija atbilst vienai α daļiņai.

Vēlāk Geigers atcerējās, ka viņam vienam pašam nācies saskaitīt ap miljonus α daļiņu. Rezerfords ar Geigeru noskaidroja, ka no 0,001 g rādija vienā sekundē izstaro 130 000 α daļiņu. Šajos eksperimentos konstatētā α staru jauda pārlicināja



Ernests Rezerfords
(1871 – 1937)

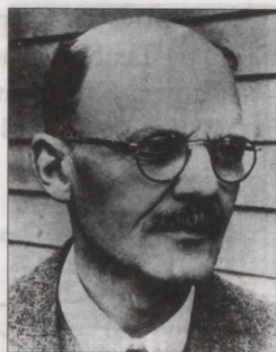


Iekārta α daļiņu izkliedes mērīšanai.
1 – metāla cilindrs, 2 – mikroskops,
3 – disks ar iedaļām pagriezienu leņķa noteikšanai, 4 – konuss, R – radioaktīva viela, F – metāla folija

Rezerfordu par jau agrāk radušās domas pareizību: izmantot α daļiņas, lai ielūkotos atomā. Vēlākie pētījumi ar α daļiņām noveda pie sensacionāliem atklājumiem.

1908. gadā Rezerfordam par radioaktivitātes pētījumiem Kanādas periodā piešķīra Nobela prēmiju ķīmijā. Šajā sakarībā banketā karaļa pili Stokholmā savā tostā Rezerfords sacīja: "Man ir bijusi darīšana ar dažādām pārvērtībām, kuras es pētīju dažādos laikos, bet pati ievērojamākā pārvērtība bija tā, ka es acimirkli no fizika pārvērtos ķīmiķi." Tajā laikā vēl nebija skaidrības, kādai zinātnei pieskaitīt radioaktivitāti: ķīmijai vai fizikai.

Reiz Rezerfords palūdza savu līdzstrādnieku Ernestu Mārsdenu (1889 – 1970) skaitīt tās α daļiņas, kas iziet cauri dažādām plāksnītēm. Mārsdens ir Jaunzēlandes fiziķis, kurš laikā no 1911. gada līdz 1914. gadam mācījās Mančestras universitātē un strādāja Rezerforda vadībā. 1914. gadā Mārsdens aizbrauca uz Jaunzēlandi, kur strādāja par profesoru Velingtonas universitātē. Izpildot Rezerforda lūgumu, Mārsdens ievietoja plāksnītes vienkāršā ierīcē α daļiņu skaitīšanai starp starotāju un cinka sulfīda ekrānu. Ja Tomsona atoma modelis ir pareizs, tad α daļiņām ir viegli jāiet cauri plāksnītēm. Tajā laikā nekādas šaubas par Tomsona atoma modeļa pareizību vēl nebija. Mārsdenu šajos vienkāršajos eksperimentos pārsteidza fakts, ka α daļiņu izkliede neatbilda Tomsona modelim. Dažas α daļiņas uzvedās neparasti, tās atstarojās no plāksnītes atpakaļ virzienā uz starotāju. Daļiņu skaits, kas izkļiedējās leņķī, kurš lielāks par 90° , pieauga, izmantojot biežākas plāksnītes. α daļiņu izkļiedes aprēķinos Rezerfords ieguva formulu $\Delta N = nN(Ze^2/m_e v^2)^2 \Delta\Omega/\sin^4(\theta/2)$. Šajā izteiksmē ΔN – daļiņu skaits, kas izkļiedējās leņķa intervālā starp θ un $\Delta\theta$, $\Delta\Omega = 2\pi\sin\theta\Delta\theta$, m_e – elektronu masa, N – α daļiņu kopējais skaits, n – izkļiedējo atomu skaits 1 cm^3 . Vienas novērojumu sērijas rezultāti α daļiņu izkļiedei zelta folijā doti nākamajā tabulā.



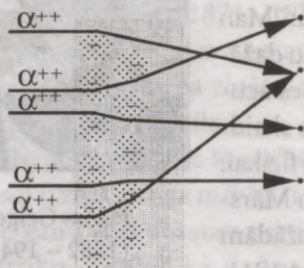
Hanss Geigers
(1882 – 1945)



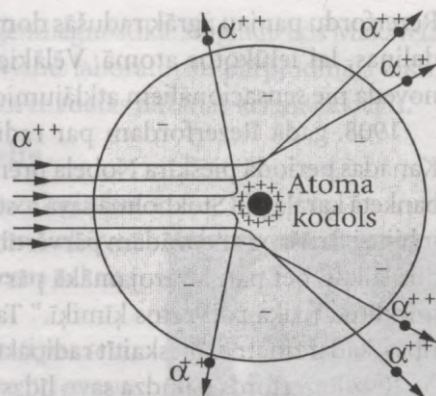
Ernests Mārsdens
(1889 – 1970)

θ	$1/\sin^4(\theta/2)$	ΔN	$\Delta N\sin^4(\theta/2)$
150	1,15	33	29
135	1,38	43	31
120	1,79	52	29
105	2,53	70	28
75	7,25	211	29
60	16,0	477	30
45	46,6	1435	31
30	223	7800	35
15	3445	132000	38

Atceroties šo eksperimentu, Rezerfords rakstīja: "Tas bija gandrīz neticami, it kā jūs iešautu piecpadsmiit mārciņu lādiņu papirosu papīra gabalā, bet lādiņš atlēktu un trāpītu jums."



Saskaņā ar Tomsona atoma modeli α daļiņu izkliede ir maza



Atoma kodola izraisītā α daļiņu izkliede saskaņā ar Rezerforda atoma modeli

Rezerfordam piemita tēlaina domāšana. Viņš saprata, ka spēki, kas spējīgi novirzīt α daļiņas lielos izkļiedes leņķos, var rasties tikai tad, ja pozitīvais elektriskais lādiņš ir koncentrēts ļoti mazā tilpumā. Pēc Tomsona modeļa, pozitīvais lādiņš sadalīts visā atomā, bet elektrons, kuram ir negatīvs lādiņš un ar kuru varētu sadurties α daļiņa, ir ar ļoti mazu masu. Tādēļ nav iespējams, ka α daļiņa varētu atstaroties. Šo eksperimentu iespaidā Rezerfordam radās ideja par citu atoma modeli. Trīs nedēļas pēc sarunas ar Mārsdenu Rezerfords izskaitļoja, ka α daļiņu izkļiedi var izskaidrot, ja pieņem, ka atomā ir masīvs kodols (*nucleus*). Rezerforda ieteiktajā modelī atoma kodols ir neliela masīva atoma daļa, kas atrodas sistēmas centrā. Lielā attālumā no kodola pa orbītām kustas viegli elektroni. Pēc Rezerforda domām, atoms ir līdzīgs miniatūrai Saules sistēmai. Pozitīvi lādētais kodols ir Saules lomā, bet negatīvi lādētie elektroni ir planētas, kas apriņķo kodolu – Sauli – Kulona pievilkšanas spēka iespaidā. Rezerfords secināja: "Tagad es zinu, kā izskatās atoms."

Rezerforda skolnieks Čārlzs Darvins (1887 – 1962), dabas pētnieka Darvina mazdēls, atceras: "Es savā dzīvē uzskatu par vienu no vissvarīgākajiem notikumiem to, kas notika manā klātbūtnē pusstundu pēc kodola piedzimšanas. Tas notika svētdienas vakariņu laikā Rezerforda Mančestras dzīvoklī. Viņš mums teica, ka novērotā α daļiņu izkļiede norāda uz neparasti varenu spēku pastāvēšanu atomā." Tā 1911. gadā Rezerforda un viņa līdzstrādnieku pūļu rezultātā radās planetārais atoma modelis. Atoma izmēri ir 10^{-8} cm, bet kodola diametrs ir daudz mazāks – 10^{-12} cm.

1913. gadā daņu fiziķis Nilss Bors (1885 – 1962), izmantojot Rezerforda atoma modeli, izstrādāja udeņraža atoma teoriju. Pēc Bora teorijas, elektrons apriņķo kodolu pa noslēgtām orbītām. Atoms neizstaro un neabsorbē enerģiju, ja elektrons atrodas stacionārā orbītā. Enerģija tiek izstarota, ja elektrons pāriet no stāvokļa ar lielāku enerģiju E_2 stāvoklī ar mazāku enerģiju E_1 . Izstarotā kvanta enerģija ir $h\nu = E_2 - E_1$. Absorbējā elektrona pāreja notiek pretējā virzienā. Taču ceļš uz šādu starošanas un absorbcijas procesu skaidrošanu nebija viegls.

Par to, ka kvantu fizikas uzskatu veidošanās bija grūts un samērā ilgs process, liecina fakts, ka šajā procesā vienā vai otrā pusē bija iesaistīti praktiski visi tā laika pazīstamākie fiziķi. Arnolds Zommerfelds rakstīja: “Bora darbi 1913. gadā apvienoja Rezerforda atoma kodola modeļa ideju ar Planka kvantu teoriju.”

Bors 1908. gadā beidza Kopenhāģenas universitāti. Doktora disertāciju izstrādāja par metālu elektronteorijas jautājumiem. 1911.–1912. gadā viņš strādāja Kembridžā pie Dž. Dž. Tomsona, kurš stingri ievēroja klasiskās fizikas principus, turpretī Bors saskatīja šo principu ierobežoto raksturu. Tas bija viens no svarīgākajiem cēloņiem, kādēļ starp Tomsonu un Boru neizveidojās sirsnīgas attiecības. 1912. gada agrā pavasarī Bors aizbrauca uz Mančestru, kur Rezerfords viņu pieņēma savā grupā, kas nodarbojās ar atoma uzbūves un kodola pētīšanu.

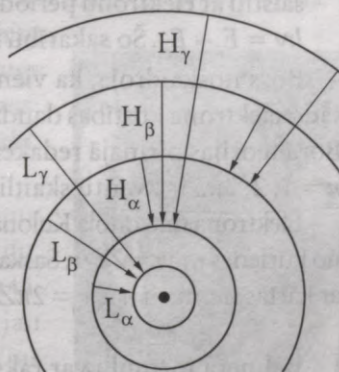
Bors nonāca pie domas, ka Rezerforda atoma modeli var izmantot ne tikai, lai izskaidrotu atsevišķus eksperimentus ar radioaktīvām vielām, bet arī, lai radītu atoma teoriju. Viņš pieņēma, ka radioaktivitāte ir atkarīga no kodola uzbūves, bet elementu fizikālās un ķīmiskās īpašības atkarīgas no elektronu un kodola saites rakstura. Atbilstoši Rezerforda idejām, Bors uzskatīja, ka visa atoma masa ir koncentrēta kodolā, kas ir pozitīvi lādēts. Bet atoms nevar būt līdzsvarā, ja elektroni, kuriem ir negatīvs lādiņš un kuri apņem kodolu, nekustas. Kustībai jānotiek pa stabilām orbītām. Bors izskaitļoja, ka orbītā jeb čaulā var atrasties no 1 līdz 8 elektroniem, kad to ir vairāk par 8, tad veidojas jauna čaula. Jaunu elektronu pievienošana ir līdzvērtīga jauna elementa veidošanai. Jaunas čaulas veidošanās dod jaunu elementu grupu. Viss bija loģiski un pārliecinoši, tā vismaz šķita Boram, kuram tad bija 27 gadi. Rezerfords atbalstīja Bora meklējumus, taču ieteica Boram būt uzmanīgam un nebūvēt teorētisku celtni uz tik nestabila pamata, kāds bija jaunais atoma modelis.

Bors saprata Rezerforda bažas par to, ka kodola un elektronu sistēmas stabilitātes problēmu neizdosies atrisināt, izmantojot klasiskās mehānikas un elektrodinamikas principus. Bors rakstīja: “Tiešām saskaņā ar Ņūtona mehāniku nekāda statiska punktveida lādiņu sistēma nevar atrasties stabilā līdzsvarā, bet jebkura kustība ap kodolu saskaņā ar Maksvela elektrodinamiku saistīta ar lielu enerģijas disipāciju izstarošanā. Enerģijas disipācija savukārt izraisa sistēmas izmēru samazināšanos. Beigu beigās tas noved pie kodola un elektronu satuvināšanos apgabalā, kura izmēri ievērojami mazāki nekā paša atoma izmēri.”

Bors nonāca pie pārliecības, ka akcijas kvantu, ko 1900. gadā ieviesa Makss Planks, lai izskaidrotu absolūti melna ķermeņa starojuma raksturu, var izmantot elektronu ātruma un attāluma aprēķināšanai atomā. Viņš arī



Nilss Bors
(1885 – 1962)



Ūdeņraža atoma enerģijas līmeņi saskaņā ar Bora teoriju

saprata, cik šis darbs ir grūts, un viņam kādu laiku neizdevās iegūt apmierinošu rezultātu. 1913. gadā februāra sākumā Bora draugs Hansens ieteica pievērst uzmanību Balmera formulai, kas bija pazīstama jau kopš 19. gadsimta beigām. "Līdzko es ieraudzīju Balmera formulu, man tūlīņ viss kļuva skaidrs," rakstīja Bors. Pēc tam darbs strauji virzījās uz priekšu.

1913. gada martā raksts "Elektronu piesaistīšana pozitīvam kodolam" bija pabeigts. Bors rakstu un pavadvēstuli adresēja Rezerfordam, izsakot lūgumu nosūtīt to publicēšanai žurnālam "Philosophical Magazine". Vēstules beigās Bors jautā Rezerfordam, kā viņš (Bors) ticis galā ar "delikāto uzdevumu".

Interesanta ir Rezerforda atbilde, kas datēta ar 1913. gada 20. martu. "Jūsu domas par ūdeņraža spektra rašanos cēloņiem ir ļoti asprātīgas un ir labi pārdomātas, taču Planka ideju apvienošana ar veco mehāniku rada ievērojamas grūtības, lai saprastu, kas galu galā ir par pamatu tādai pieejai... Jūs, bez šaubām, pilnīgi apzināties šīs grūtības; tās ir šādas: kā elektrons var zināt, ar kādu frekvenci tam jāsvārstās, kad tas pāriet no viena stacionāra stāvokļa otrā? Man šķiet, ka jūs esat spiests pieņemt, ka elektrons zina jau iepriekš, kur tas gatavojas apstāties." Turklāt Rezerfords ieteica Boram rakstu saīsināt.

Šī ironija, kas raksturīga Rezerfordam, Boru nesamulsināja, un viņš devās uz Mančestru, lai Rezerfordu pārliecinātu. Pēc tam Bors rakstīja: "Kaut arī Rezerfords bija, kā vienmēr, ļoti aizņemts, viņš izrādīja gandrīz vai eņģeļa pacietību un pēc ilgām pārrunām, kas notika vairākus vakarus (starp citu, viņš toreiz sacīja, ka nekad neesot domājis, ka es izrādīšos tik stūrgalvīgs), piekrita atstāt visus vecos un jaunus jautājumus raksta galējā variantā." Rezerfords pēc tam vēl ilgi atcerējās, kā delikātais dānis viņu "dzinis stūrī".

Bora domas par atoma diskrētiem stacionāriem enerģijas stāvokļiem tika formulētas divu postulātu veidā.

- Eksistē stacionāri atoma stāvokļi, kuru enerģija var pieņemt tikai diskrētas vērtības E_1, E_2, E_3, \dots . Pāreja no viena enerģijas stāvokļa otrā notiek lēcieniem.
- Pārejā tiek izstaroti noteiktas frekvences elektromagnētiskā lauka kvanti, kas nav saistīti ar elektronu periodiskās kustības frekvenci, bet gan ar līmeņu enerģiju starpību $h\nu = E_n - E_m$. Šo sakarību sauc par Bora nosacījumu frekvencēm.

Bors noskaidroja, ka viens no nosacījumiem, kas norāda uz stacionāru stāvokli, ir šāds: elektrona kustības daudzuma moments stacionārā stāvoklī ir $nh/2\pi$. Šis nosacījums Bora teorijas pirmajā redakcijā bija trešais postulāts. Tādā gadījumā $m_e v r = nh/2\pi$, kur $n = 1; 2; 3; \dots$ ir kvantu skaitlis, r – elektrona orbītas rādiuss.

Elektrona un kodola Kulona mijiedarbība izraisa centrīces paātrinājumu $m_e v^2/r = Ze^2/r^2$, no kurienes $m_e v r = Ze^2/v$. Saskaņā ar trešo postulātu $Ze^2/v = nh/2\pi$ un elektrona ātrums orbītā ar kārtas numuru n ir $v_n = 2\pi Ze^2/nh$. Stacionārā līmeņa enerģija ir:

$$E = -2\pi^2 e^4 m_e Z^2 / n^2 h^2.$$

Balmera formulu var rakstīt šādi:

$$\nu = 2\pi^2 e^4 m_e Z^2 (1/n^2 - 1/m^2) / h^3 c, \text{ kur } R_\infty = 2\pi^2 e^4 m_e / h^3 c = 109\,737,3 \text{ cm}^{-1}.$$

Ievērojot, ka elektrons un kodols riņķo ap kopējo masas centru, iegūst pilnīgu aprēķināto un eksperimentālo vērtību saskaņu. Bora teorija ļauj noteikt arī stacionāro orbītu rādiusus: $a_n = n^2 h^2 / 4\pi^2 Ze^2 m_e$. Bora pirmās orbītas rādiuss $a_1 = 0,529 \text{ \AA}$, bet $a_n = n^2 a_1$.

Jo lielāks ir kvantu skaitlis m , jo tuvāk novietojas blakus esošie stacionārie stāvokļi, jo labāka saskaņa starp frekvenču kvantu noteikumu un klasisko priekšstatu, ka starojuma frekvence ir atkarīga no elektrona rotācijas frekvences ap kodolu. Ja elektrona apriņķošanas frekvence ir ω , tad no klasiskās elektrodinamikas izriet, ka atoma starojumā būs pārstāvētas frekvences $\nu \approx k\omega$, kur k ir vesels skaitlis.

Bora teorijā starojuma frekvenci nosaka stacionārie stāvokļi m un n . Ja skaitļi m un n ir lieli, salīdzinot ar $m - n$, tad pārejā starp līmeņiem m un n izstarotā frekvence būs ar kārtu $\nu \approx (m - n)\omega$, kur $m - n$ arī ir vesels skaitlis. Tātad lieliem kvantu skaitļiem frekvenču kvantu noteikums tuvojas klasiskās teorijas sakarībai starp starojuma frekvenci un elektrona apriņķošanas biežumu. Vispārinot šo rezultātu, Bors aplūkoja klasiskās likumsakarības kā kvantu likumsakarību robežgadījumu. Tas ir atbilstības princips.

Bora darbs bija tādā mērā netradicionāls, ka izraisīja asu polemiku. Bora teoriju nepieņēma vecākās paaudzes fiziķi Dž. Tomsons un Relejs, kā arī vidējās paaudzes fiziķis Pīters Zēmanis. Sākumā skeptiski noskaņots bija arī Makss Borns, kurš vēlāk pats deva būtisku ieguldījumu kvantu fizikā. Tomēr vairākums fiziķu izrādīja labvēlīgu interesi. Tā Arnolds Zommerfelds, atbildot uz Bora atsūtīto darbu, 1913. gada 4. septembrī rakstīja: "Augsti godātais kolēģi! Pateicos jums par Jūsu ārkārtīgi interesanto darbu... Mani jau sen nodarbina Ridberga – Rica konstantes izteikšana ar Planka konstanti. Kaut arī šobrīd es vispār vēl visai skeptiski skatos uz atoma modeļiem, taču šīs konstantes aprēķins, bez šaubām, ir īsts varoņdarbs."

Septembra vidū Birmingemā kārtējā ikgadējā Britu zinātņu attīstības asociācijas sēdē Dž. Džīns, atklājot diskusiju, sacīja: "Doktors Bors nonācis pie ārkārtīgi asprātīga, oriģināla un, var sacīt, pārliecinoša spektrālīniju tulkojuma... Šodien vienīgais šo pieņēmumu svarīgs apstiprinājums ir fakts, ka tie darbojas praksē."

Relejs uz jautājumu, kā viņš vērtē Bora darbu, atrunājās ar joku, ka neuzskata par iespējamu izteikties par jaunām teorijām kopš sava 60. mūža gada. Taču tas viņu nekavēja atbildēt visai asi: "Es to apskatīju, bet neredzu, ar ko tas man varētu būt noderīgs. Neņemos apgalvot, ka tā neveic atklājumus. Varbūt arī veic, bet mani tas neapmierina."

Dž. Tomsons apstrīdēja dažus Bora definējumus, uz kuriem Bors atbildēja mierīgi un ar cieņu. Bora kolēģis un draugs ungāru fiziķis un ķīmiķis Georgs Heveši (1885 – 1966) atceras: "Klātesošiem šķita, ka tieši Tomsons izteica kaut ko oriģinālu, bet Bors pateica mulķību. Patiesība bija gluži pretēja."

Vēlāk Heveši Boram rakstīja par savu sarunu ar Einšteinu: "Kad es viņam prasīju, ko viņš domā par Jūsu (Bora) teoriju, viņš atbildēja, ka tā ir ļoti interesanta, ļoti svarīga teorija, ja tā, protams, nav nepareiza... Es viņam paziņoju, ka tagad jau pierādīts, ka Pīkeringa – Faulera spektrs pieder hēlijam. Viņš bija pārsteigts un tikai noteica: "Bet tādā gadījumā gaismas frekvence pilnīgi nav atkarīga no elektrona frekvences! (Es to sapratu tā!) Tas ir kolosāls atklājums! Tātad Bora teorijai jābūt pareizai." Vai arī: "Gaismas kvantu teorija darīja iespējamu



Georgs Heveši
(1885 – 1966)



Frederiks Sodi
(1877 – 1956)

Viljama Breġa atjautīga izteikuma, par gaismu un citiem izstarošanas veidiem mums jādomā kā par fotoniem pirmdienās, trešdienās un piektdienās un kā par viļņiem otrdienās, ceturtdienās un sestdienās.”

Ar Rezerforda – Bora atoma modeļa palīdzību varēja labi izskaidrot ūdeņraža spektrālo sēriju rašanos un ūdeņražveidīgo jonu spektrus. Bora teorijas pareizību apstiprināja arī citi eksperimenti. Vācu fiziķi Džeimss Franks (1882 – 1964) un Gustavs Hercs (1887 – 1975) 1914. gadā pierādīja enerģijas līmeņu diskreto raksturu mijiedarbībās starp dzīvsudraba atomiem un elektroniem: elektrons savu enerģiju var atdot atomam tikai tad, ja tā nav mazāka par atoma ierosināšanas enerģiju. Speciālas konstrukcijas caurulē elektroni elektriskā laukā tiek paātrināti līdz noteiktai enerģijai. Ja tā ir mazāka par dzīvsudraba ierosināšanas enerģijas vērtību, tad var notikt elastīga sadursme ar dzīvsudraba atomu, kuras dēļ elektrons savu enerģiju nezaudē. Ja elektrona enerģija ir pietiekami liela, tas sadursmē ar dzīvsudraba atomu var zaudēt 4,9 eV lielu enerģiju. Tad rodas dzīvsudraba rezonanses starojuma UV kvants (2537 Å), kura enerģija arī ir 4,9 eV.

Franka un Herca eksperiments pierādīja, ka atoma enerģija var mainīties par diskretām vērtībām, kas labi saskanēja ar Bora teoriju. Tā pieņemts rakstīt mācību grāmatās. Faktiski situācija bija sarežģītāka. 1914. gadā, kad tika veikts šis eksperiments, sākās Pirmais pasaules karš. Kara apstākļos bija traucēta informācijas apmaiņa starp zinātniekiem, kā arī uzkurinātas nacionālistiska rakstura kaislības. Pēc kara Džeimss Franks atcerējies šādu notikumu: “Armijā es saņēmu vēstuli no Lenarda. Viņš lūdza, lai mēs sevišķi aizrautīgi sistu angļus tāpēc, ka angļi nekad nav pienācīgi citējuši viņa darbus.” Filips Lenards (1862 – 1947) ir vācu zinātnieks, kurš nodarbojies ar katodstaru un fotoefekta pētījumiem. 1905. gadā Lenards saņēma Nobela

Bora atoma teoriju un izskaidroja tik daudz faktu, ka tai ir jāsaturs ievērojama daļa patiesības.”

Frederiks Sodi (1877 – 1956) šajā sakarībā rakstīja: “Bora spektru teorija, saskaņā ar kuru gaismas tiek izstarota ar diskretām porcijām jeb fotoniem, kuru frekvence ir ν , bet enerģija $h\nu$, acīmredzot reabilitēja veco Ņūtona gaismas korpuskulāro teoriju, kas ar difrakcijas eksperimentiem tika uzskatīta par pilnīgi atspēkotu viļņu teorijas labā. Taču visai zīmīgi, ka jaunā teorija neizspieda veco. Pēc sera



Gustavs Hercs
(1887 – 1975)



Džeimss Franks
(1882 – 1964)



Johans Štarks
(1874 – 1957)

prēmiju. Hitlera režīma laikā viņš bija pārliecināts nacists. Līdzīgs liktenis bija Johanam Štarkam, kurš 1919. gadā saņēma Nobela prēmiju par pētījumiem spektroskopijā.

Franks un Hercs pirms Pirmā pasaules kara neko nezināja par Boru un viņa atoma modeli. Franks vēlāk sacīja: "Mēs par Bora darbu uzzinājām, kad gulējām hospitālī... Hercs arī slimoja... Man bija paralizētas kājas, bet citādi jutos ciešami. Es lasīju literatūru un atradu Bora pētījumus..."

Sākumā Franks un Hercs uzskatīja, ka elektroni izraisa dzīvsudraba atomu jonizāciju. Bors, balstoties uz sava modeļa, izskaitļoja, ka jonizācijai nepieciešama 10,5 eV liela elektronu enerģija. Stāvokli sarežģīja tas, ka Berlīnē veiktajos eksperimentos līdzās UV starojumam novēroja arī dzīvsudraba jonizāciju. Bors uzskatīja, ka jonizāciju izraisa kāds cits aģents, nevis elektroni, kuru enerģija ir 4,9 eV. Problēmas atrisināšanai bija nepieciešams eksperiments. Bors vēlāk atceras, "ka problēma ar sagaidāmo rezultātu tika atrisināta neatkarīgi no mums, pateicoties 1918. gadā Ņujorkā izdarītajiem spīdošajiem Dēvisa un Gotjē pētījumiem." Tas nozīmē, ka 1915. gadā, kad Bors publicēja savu pētījumu "Par starojuma kvantu teoriju un atoma struktūru", viņš nevarēja atrisināt jautājumu par dzīvsudraba jonizācijas enerģijas vērtību: 4,9 eV vai 10,5 eV. Bija arī citi fakti, kurus Bora teorija nespēja izskaidrot. Tā nederēja hēlija un pārējo atomu spektru skaidrošanai.

Rezumējot jāatzīst, ka Bora loma fizikālo uzskatu attīstībā bija ļoti liela. Situācijā, kad uzkrātais eksperimentālais materiāls atradās pretrunā ar agrāk zināmām likumsakarībām, viņš atrada pareizu pieeju jautājuma risināšanai. Bors orientēja fizikus uz reālo mikropasaules pretrunīgo īpašību pētījumiem.

Bors ļoti augstu vērtēja argumentu skaidrību un savās prasībās bija ļoti neatlaidīgs. To labi raksturo kāda epizode. Reiz pie Bora Kopenhāgenā bija ieradušies Ļevs Landaus un S. E. Peierls, lai parādītu Boram savu jauno darbu. Peierls jau bija piekāpies Bora argumentu priekšā, bet Landaus vēl pretojās. Šajā laikā parādījusies karikatūra: Landaus sēd, piesiets pie krēsla ar vikšķi mutē, bet viņam pretī stāv Bors ar paceltu rādītāja pirkstu un cenšas pārliecināt: "Pagaidiet, Landau, ļaujiet man kaut vārdu bilst!"

Jau pirms Bora Balmera formulu mēģināja izskaidrot Arnolds Zommerfelds. P. Debajs atstāta kādu gadījumu, kas noticis 1906. gadā, kad viņš Zommerfelda sabiedrībā ar velosipēdu ceļojis Mozeles ielejā. Kādas viņa tirgotavas īpašnieks centies viņus pierunāt kļūt par pastāvīgiem viņa pircējiem. Atbildot uz šo piedāvājumu, Zommerfelds ierakstījis viesu grāmatā: "Līdzko es spēšu izskaidrot Balmera formulu, braukšu pie jums pēc viņa." Arī 1914. gadā, kad šo uzdevumu bija veicis Bors, Zommerfelds nebija zaudējis interesi par ūdeņraža spektru. Bija virkne faktu, kurus Bora teorija nespēja izskaidrot.



Ļevs Landaus
(1908 – 1981)



Bora – Zommerfelda turnīrs

- 1891. gadā A. Maikelsons novēroja ūdeņraža līniju sīkstruktūru.
- 1896. gadā P. Zēmanis konstatēja spektrālīniju sašķelšanos ārējā magnētiskajā laukā.
- Izvirzījās jautājums par relativistisko efektu iespaidu uz spektra struktūru.
- 1913. gadā J. Štarks atklāja spektrālīniju sašķelšanos elektriskajā laukā.

Zommerfelds izvirzīja jautājumus:

- 1) kāpēc elektroniem jāriņķo pa riņķa orbītām, bet planētām ir atļautas eliptiskas orbītas,
- 2) kā uzlabot Bora modeli, izmantojot relativitātes teoriju?

Bija skaidri redzams, ka ar viena kvantu skaitļa palīdzību šo uzdevumu nevar atrisināt. 1916. gadā Bora teorija tika attīstīta tālāk Zommerfelda darbos. Ievērojot, ka elektrona kustība kodola Kulona laukā var notikt pa elipsēm, Zommerfelds pētīja Bora postulātu izmantošanas iespējas vispārīgākā eliptisku orbītu gadījumā. Lai atrisinātu jautājumu, kuras no elipsēm realizējas atomā, Zommerfelds viena kvantu skaitļa vietā izmantoja divus kvantēšanas nosacījumus. Tas nepieciešams tādēļ, ka kustību pa elipsi apraksta divas polārās koordinātas: rādiusvektors r un pagrieziena leņķis (azimuts) φ .

Stacionāru eliptisku orbītu nosaka divi kvantēšanas nosacījumi:

$$\int p_{\varphi} d\varphi = n_{\varphi} h; \int p_r dr = n_r h, \text{ kur } p - \text{vispārinātais impulss.}$$

Vesēlie skaitļi n_{φ} un n_r atbilstoši ir azimutālais un radiālais kvantu skaitlis. Pirmais Zommerfelda nosacījums atbilst Bora teorijas pirmās redakcijas trešajam postulātam, jo arī kustību pa elipsi elektrona kustības daudzuma moments paliek nemainīgs: $p_{\varphi} = p = \text{const.}$

$$\int p d\varphi = 2\pi p = nh, p = nh/2\pi.$$

Skaitļi n_{φ} un n_r nosaka elipses elementus: lielo pusasi un ekscentritāti.

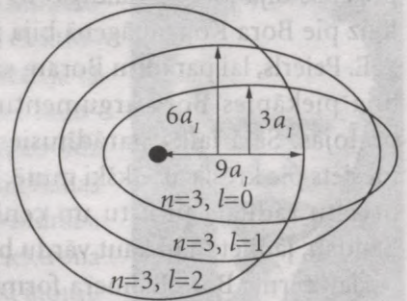
Elektrona enerģija, atrodoties stacionārā eliptiskā orbītā, ir tāda pati, kā kustoties pa riņķa orbītu:

$$E = -2\pi^2 m_e e^4 / h^2 (n_r + n_{\varphi})^2; n_r + n_{\varphi} = n.$$

Vērtībām $n_r = 0$; $n_{\varphi} = n$ atbilst riņķa orbīta, vērtībām $n_r = n - 1$; $n_{\varphi} = 1$ atbilst visvairāk izstieptā elipse. Kvantu mehānikā elektronu orbītas raksturo ar azimutālo kvantu skaitli l , kur l pieņem vērtības 0; 1; 2 ... $n - 1$.

Vienam un tam pašam galvenajam kvantu skaitlim n var būt vairākas eliptiskās orbītas ar atšķirīgu ekscentritāti. Elektroniem uz šīm orbītām ir vienāda pilnā enerģija. Šādus stāvokļus sauc par deģenerētiem. Stāvokļu deģenerāciju var novērst ārējais lauks vai arī paša atoma lauks, ja tam čaulā ir vairāk par vienu elektronu. Šis apstāklis atspoguļojas arī spektrā. Piemēram, sārnu metālu spektros veidojas vairākas spektrālīniju sērijas atkarībā no kvantu skaitļa l vērtības.

Zommerfelds pierādīja, ka arī ūdeņraža un ūdeņražveidīgo jonu spektros veidojas sīkstruktūra, ko izraisa eliptiskās orbītas precesija ap fokusu. Tās cēlonis ir elektrona masas atkarība no ātruma. Šā faktora iespaidā elektrons apriņķo kodolu pa nenoslēgtu līniju, kam ir rozetes forma.



Elektronu orbītas Zommerfelda atoma modeli. Galvenais kvantu skaitlis $n = 3$; a_1 – pirmās Bora orbītas rādiuss; $l = 0; 1; 2 \dots n - 1$ – azimutālais kvantu skaitlis

3. 8. Debroļi vilnis. Kvantu fizikas uzskatu nostiprināšanās

Kvantu optikas tālākā attīstībā iezīmējas divas līnijas. Viena no tām saistīta ar optisko metožu izmantošanu vielas uzbūves pētīšanā, bet otra – ar pašas gaismas īpašību noskaidrošanu, tās rašanos un mijiedarbību ar vielu.

Bora teorija deva daudz vērtīga atomu struktūras un spektru skaidrošanā. Taču jau pašā sākumā radās virkne grūtību. Tās saistītas ar starojuma intensitātes un polarizācijas aprēķināšanu. Bora teorija nav izmantojama atomiem, kam vairāk par vienu elektronu, un molekulām. Šīs grūtības tika pārvarētas vēlāk.

Pirmo soli minēto grūtību pārvarēšanā 1924. gadā veica franču fiziķis Luijs Debroļi (*de Broglie*, 1892 – 1987). Pētot starojuma divējādo dabu, viņš apgalvoja, ka divējāda daba ir ne tikai elektromagnētiskajam starojumam, bet gan visai matērijai, tajā skaitā elektroniem, protoniem, neitroniem un pat golfa bumbiņai. Debroļi nokļuva situācijā, kas bija pretēja tai, kādā 1905. gadā atradās Einšteins, kura rīcībā bija gaismas viļņu teorija, bet viņš centās radīt gaismas daļiņu teoriju. Einšteins zināja viļņu frekvenci ν un varēja aprēķināt daļiņu enerģiju, izmantojot Planka formulu $E = h\nu$. Debroļi turpretī nekā nezināja par viļņiem, kuru eksistenci viņš pieļāva. Šo viļņu īpašības



Luijs Debroļi
(1892 – 1987)

vajadzēja paredzēt, zinot daļiņu mehāniskās īpašības, t. i., no to enerģijas un impulsa. Savos pētījumos Debroļi izmantoja sakarības, kas apraksta starojuma divējādo dabu. No fotona impulsa $p = h/\lambda$ izriet, ka $\lambda = h/p$, kur $p = mv$; m – daļiņas masa, v – kustības ātrums. Viņš pieņēma, ka līdzīgi fotoniem, kam ir viļņu un daļiņu daba, elektroniem un citām materiālām daļiņām vienlaikus ir arī viļņu īpašības. Debroļi rakstīja: “Optikā gadsimta garumā par daudz noniecināja korpuskulāro uzskatu, salīdzinot ar viļņu teoriju; vai vielas teorijā netiek darīta pretēja kļūda? Vai mēs par daudz nedomājam par daļiņu ainu un vai pārmērīgi noniecinām viļņu ainu?”

Debroļi izvirzīja hipotēzi, ka katras daļiņas kustību pavada viļņu process, kur viļņu garums saistīts ar daļiņas masu un ātrumu: $\lambda = h/mv$. Ne visiem Debroļi idejas šķita pieņemamas. Pat franču fiziķis Pols Lanževēns (1872 – 1946), Rezerforda kolēģis no doktorantūras laikiem pie Dž. Tomsona, sarunā ar akadēmiķi Abramam Jofi šādi izteicies par Debroļi disertāciju: “Disertanta idejas, protams, ir blēņas, bet



Atoma planetārā modeļa grūtības saistītas ar starojuma intensitātes un polarizācijas aprēķināšanu. Bora teorija nav izmantojama arī atomiem, kam vairāk par vienu elektronu, un molekulām.

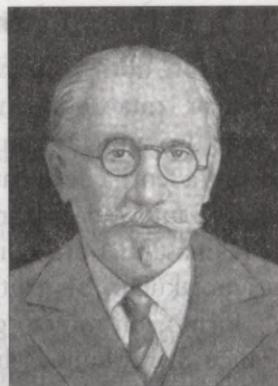
Planetārais atoma modelis
“Pieņem, kungs, viņa dvēseli”
1911 – 1927

tās ir attīstītas ar tādu eleganci un krāšņumu, ka es pieņēmu disertāciju aizstāvēšanai.”

Mūža otrajā pusē Debroļji paskaidroja, kā viņš nonācis pie atoma kvantu modeļa: “Vesēlie skaitļi elektronu iekšatoma kvantētās kustības likumos, kā man šķita, norādīja uz interferences pastāvēšanu šīm kustībām.”

Izmantojot formulu $\lambda = h/m_e v$, Debroļji noteica viļņu garumus elektroniem planetārajā atoma modelī. Tā kā atoms ir stabila sistēma, tad Debroļji pieņēma, ka vienīgi iespējamās elektronu orbītas ir tās, kuras veido elektronu stāvviļņus, tātad orbītas, kurās novietojas Debroļji viļņu vesels skaitlis. Bora atoma modeļa kvantēšanas nosacījums stacionārai orbītai ir $m_e v a = nh/2\pi$, bet $a_n = n^2 a_1$.

Elektrona kustības ātrums n -tajā orbītā ir $v_n = h/n2\pi m_e a_1$, $p = m_e v_n = h/n2\pi a_1$, bet viļņa garums $\lambda_n = h/p_n = 2\pi n a_1$. Tā kā orbītas garums ir $l_n = 2\pi n^2 a_1$, tad viļņu skaits, kas ietilpst vienā orbītā, ir $l_n/\lambda_n = n$. Orbītas, kas neapmierina Bora izvirzītos nosacījumus, interferences dēļ dzēšas.



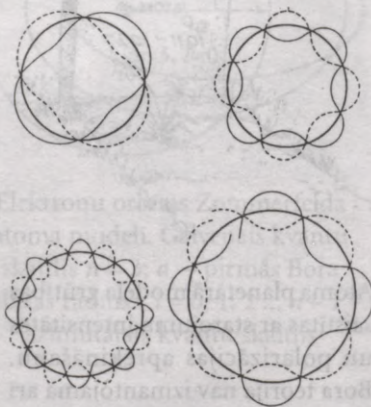
Pols Lanževēns
(1872 – 1946)

n	a_n , cm	v_n , cm/s	λ_n , cm
1	$0,53 \cdot 10^{-8}$	$2,20 \cdot 10^8$	$3,3 \cdot 10^{-8}$
2	$2,10 \cdot 10^{-8}$	$1,10 \cdot 10^8$	$6,6 \cdot 10^{-8}$
3	$4,73 \cdot 10^{-8}$	$0,73 \cdot 10^8$	$9,9 \cdot 10^{-8}$
4	$8,40 \cdot 10^{-8}$	$0,55 \cdot 10^8$	$13,2 \cdot 10^{-8}$
5	$13,15 \cdot 10^{-8}$	$0,44 \cdot 10^8$	$16,5 \cdot 10^{-8}$
10	$52,6 \cdot 10^{-8}$	$0,22 \cdot 10^8$	$33,0 \cdot 10^{-8}$

Šo aprēķinu panākumi ievadīja jaunas zinātnes sākumu, radās viļņu mehānika. Nomainot Bora formālos noteikumus ar noteikumiem, kas raksturo daļiņu viļņu īpašības, Debroļji iekļāva kvantu teoriju kopējā viļņu teorijā un apvienoja optikas un mehānikas redzesviedokļus.

No šā viedokļa, masīvi ķermeņi, kuru Debroļji viļņu garums ir ļoti mazs, atrodas ģeometriskās optikas kompetencē, un to kustībā viļņu efekti neizpaužas. Ar ģeometrisko optiku attiecībā pret Debroļji viļņiem jāsaprot daļiņu kustības likumi pa to trajektorijām. Ar to nodarbojas klasiskā mehānika, izpildot ģeometriskās optikas lomu Debroļji viļņiem.

Klasiskā mehānika nespēj pareizi aprakstīt parādību, ja Debroļji viļņa garums kustīgam objektam kļūst pietiekami liels, kā tas ir novērojams atomu pasaulē.



Bora postulētās orbītas ūdeņraža atomam var iegūt, ja orbītā ietilpst elektrona viļņa garuma vesels skaits

Tāpēc ir saprotamas klasiskās mehānikas grūtības atomu uzbūves skaidrojumos un Bora orbītu aprēķinu panākumi viļņu mehānikā.

Laikā, kad Debroljī izvirzīja savu hipotēzi, austriešu fiziķis Ervīns Šrēdingers (1887 – 1961) pasniedza fiziku Cīrihes universitātē. 1926. gadā, iepazīnies ar Debroljī disertāciju, Šrēdingers atklāja analogiju starp klasiskās mehānikas un ģeometriskās optikas matemātisko pierakstu. Vadoties pēc Debroljī idejas, Šrēdingers izstrādāja mikrodaļiņu kustības teoriju un uzrakstīja vienādojumu nerelativistiskajam gadījumam, kuru tagad pazīstam kā Šrēdingera vienādojumu. Daliņām, kuru masa ir m un kuras kustas potenciāla $V(x, y, z, t)$ izraisītā spēka iespaidā, Šrēdingera vienādojuma pieraksts ir šāds:

$$\partial^2 \psi / \partial x^2 + \partial^2 \psi / \partial y^2 + \partial^2 \psi / \partial z^2 - (8\pi^2 m / h^2) V(x, y, z, t) \psi = (4\pi i m / h) \partial \psi / \partial t,$$

kur ψ raksturo Debroljī vilni.

Debroljī priekšstats daļiņa ir saistīta ar vilni, bet Šrēdingera attēlojumā daļiņa pilnīgi izzūd, telpu aizpilda tikai viļņi. Šrēdingers deva šā vienādojuma risinājumu atsevišķiem gadījumiem: ieguva Bora un Debroljī nosacījumus u. c. kvantu teorijas rezultātus vispārīgā veidā. Šrēdingers konstatēja, ka viņa secinājumi sakrīt ar citas teorijas rezultātiem, kuras autors bija Zommerfelda bijušais skolnieks vācu fiziķis Verners Heizenbergs (1901 – 1976).

Heizenbergs arī ir viens no kvantu mehānikas radītājiem. 1923. gadā Verners Heizenbergs tika norīkots par Maksa Borna (1882 – 1970) asistentu Gētingenes universitātē. 1927. gadā viņš formulēja nenoteiktības principu, kas ierobežo klasisko jēdzienu



Ervīns Šrēdingers
(1887 – 1961)



Verners Heizenbergs
(1901 – 1976)



Dž. Tomsons 1897. gadā atklāja elektronu. 1927. gadā Heizenbergs formulēja nenoteiktības principu, kas ierobežo klasisko jēdzienu un priekšstatu izmantošanu mikroobjektu pētīšanā. 1997. gadā izdevumā "History of Physics Newsletter" publicēta karikatūra, kas ļoti trāpīgi raksturo klasiskās un modernās fizikas redzes viedokļus:

Tomsons: "Ahā! Elektriskās korpuskulas!"

Heizenbergs: "Jūs nekad nevarat būt pārliecināts."

un priekšstatu izmantošanu mikroobjektu pētīšanā. Heizenberga vārds iekļauts atoma kodola protonu–neutronu modeļa autoru sarakstā, jo viņš 1933. – 1934. gadā izstrādāja pirmo kodolspēku teoriju. Šajā laikā Heizenbergs jau zināja atombumbas darbības principus, bet morālu apsvērumu dēļ tos neizpaua. Nobela prēmiju Heizenbergam piešķīra 1932. gadā.

Makss Borns, vācu fiziķis teorētiķis, ir viens no modernās fizikas pamatlicējiem. Maksa Borna zinātniskā darbība bija ļoti plaša. Lielu savas dzīves daļu viņš veltīja optikai. Šā darba rezultātā 1933. gadā izdevniecība “Springer” laida klajā viņa grāmatu “Optika”. 1956. gadā angļu valodā tika izdota Borna grāmata “Optikas pamati” 800 lappušu apjomā, kurā bija izklāstītas teorētiskās optikas pamatatzīņas. Borns ir uzrakstījis arī grāmatu par Einšteina relativitātes teoriju, kura pašam Einšteinam esot ļoti patikusī. Tomēr par Borna galveno nopelni uzskata kvantu mehānikas attīstīšanu un tās pamatjēdzienu traktēšanu. Viņš kopā ar Heizenbergu un P. Jordanu kvantu teorijā ieviesa matricu mehāniku. Borns deva Šrēdingera viļņu funkciju statistisko tulkojumu. Nobela prēmiju par nopelniem šajā jomā Borns saņēma 1954. gadā.



Makss Borns
(1882 – 1970)

1923. gadā Luijs Debroļjī Parīzē publicēja savu pirmo ziņojumu par daļiņu viļņiem. Borna uzskati stipri atšķīrās no tiem, ko pauda Debroļjī un Šrēdingers. Borns uzskatīja, ka kvantus vajag uztvert tādus, kādi tie ir, jo problēma nav to izskaidrošanā, bet gan mākslā iemācīties izmantot šo jēdzienu. Līdz šim fiziķiem jaunā jēdziena apgūšanu traucēja klasiskais priekšstats par laiku, telpu un ātrumu. Atomā nav likumību attāluma un laika intervālu mērīšanai. Saskaņā ar Bornu nav jēgas runāt par to, ko nevar izmērīt. Šo radikālo pieeju savā teorijā izmantoja Heizenbergs.

Kvantu teorija māca, ka gaisma tiek izstarota atoma pārejās no viena kvantu stāvokļa otrā. Šo stāvokļu enerģijas ir E_i un E_k . Tad rodas kvants, kura frekvence ir $\nu_{ik} = E_i/h - E_k/h$. Starojuma intensitāti noteiks izstaroto fotonu daudzums, kas atkarīgs no pārejas varbūtības A_{ik} . Heizenbergs secināja, ka, ja izdotos izskaitļot atomu enerģijas vērtības $E_1; E_2; E_3 \dots$ un pārejas varbūtības $A_{21}; A_{31}; A_{41} \dots$, tad varētu uzzināt visu par gaismu, ko atoms izstaro. Emitētās gaismas frekvenču un pārejas varbūtību simboliem ir divi indeksi, no kuriem viens apzīmē atoma sākotnējo, bet otrs atoma beigu stāvokli. Heizenbergs ierosināja veidot šo lielumu tabulas, kuras matemātiķiem jau bija pazīstamas kā matricas. No šā brīža matricu mehānika strauji progresēja, un tās paredzējumi apstiprinājās eksperimentāli.

Katram atoma kvantu stāvoklim, pēc Debroļjī hipotēzes, piemīt stāvvilnis, kas ir Šrēdingera vienādojuma risinājums. Visu iespējamo stāvokļu komplektam atbilst stāvviļņu komplekts $\psi_1; \psi_2; \psi_3 \dots$ Šrēdingers aplūkoja kvantu pāreju starp sākumstāvokli i un beigu stāvokli k , kuriem atbilst stāvviļņi ψ_i un ψ_k . Šai pārejai viņš izskaitļoja pārejas varbūtību A_{ik} , kas atkarīga no ψ_i un ψ_k . Šrēdingeram izdevās pierādīt, ka, izmantojot viļņu vienādojumu, var iegūt Heizenberga matricas. Abu teoriju matemātiskā pieraksta apvienošanā

radās viļņu jeb kvantu mehānika. Uz kvantu mehānikas bāzes strauji attīstījās atomu un molekulu spektroskopija.

Beļģu ķīmiķis, tehnologs un rūpnieks Ernests Solvejs (*Solvay*, 1838 – 1922) šā gadsimta sākumā nolēma atvēlēt daļu no sava īpašuma zinātnisko pētījumu atbalstīšanai. Par šiem līdzekļiem regulāri tika organizēti kongresi svarīgu problēmu apspriešanai. Sevišķa loma bija Solveja V fiziķu kongresam. Pēdējā izcilākā klasiskās fizikas pārstāvja H. Lorenca vadībā diskusijā piedalījās visi ievērojamākie kvantu fizikas veidotāji. Šis kongress iezīmēja krasu pagrieziena zinātnes vēsturē. Neapšaubāma bija kvantu priekšstatu atzīšana, taču domstarpības radās to interpretācijā. Bors, Borns, Heizenbergs, Pols Diraks, Volfgangs Pauli un Hendriks Krāmers uzskatīja, ka principiālās problēmas ir atrisinātas un praktiskie jautājumi atrodas risināšanas stadijā. Borns sacīja: “Mēs uzskatām, ka kvantu mehānika ir pilnībā izstrādāta teorija, kuras fizikālās un matemātiskās pamathipotēzes neprasa kādas izmaiņas.” Un tālāk Borns saka, ka kvantu postulāti “...noved pie atteikšanās no atomāro procesu cēloņsakarību skaidrojuma laikā un telpā”. Šā novirziena pārstāvji uzskatīja, ka par izejas punktu jāpieņem kvanta jēdziens, teorijā jāatsakās no visiem lielumiem, ko nevar novērot, un no determinisma.

Reālus iebildumus pret šo viedokli izteica tikai Einšteins, Debrolji un Šrēdingers. Pirmais no viņiem bija autors gaismas teorijai, kas pamatojās uz hipotētisko daļiņu – fotonu. Pārējie divi radīja jaunu mehāniku, postulējot viļņus, par kuru eksistenci pagaidām neliecināja nekādi eksperimenti. Debrolji un Šrēdingeram nebija nekāda pamata pieņemt par atskaites punktu kvantu eksistenci: viņu viļņu mehānika neizrietēja no apgalvojuma, ka eksistē kvanti, bet gan no jautājuma, kāpēc kvanti eksistē. Solveja kongresā 1927. gadā pārsvaru guva tie, kurus vēlāk dēvēja par “Kopenhāģenas skolas” pārstāvjiem.

1926. gadā Makss Borns sniedza Debrolji viļņu skaidrojumu. Borns šos viļņus interpretēja kā lielumus, kas raksturo daļiņas varbūtību atrasties noteiktā stāvoklī. Divus gadus vēlāk 1928. gadā angļu fiziķis Pols Diraks formulēja relativistisko vienādojumu, kas apraksta elektrona kustību ārēja spēka laukā. Diraka vienādojums kļuva par vienu no pamatvienādojumiem relativistiskajā kvantu mehānikā.

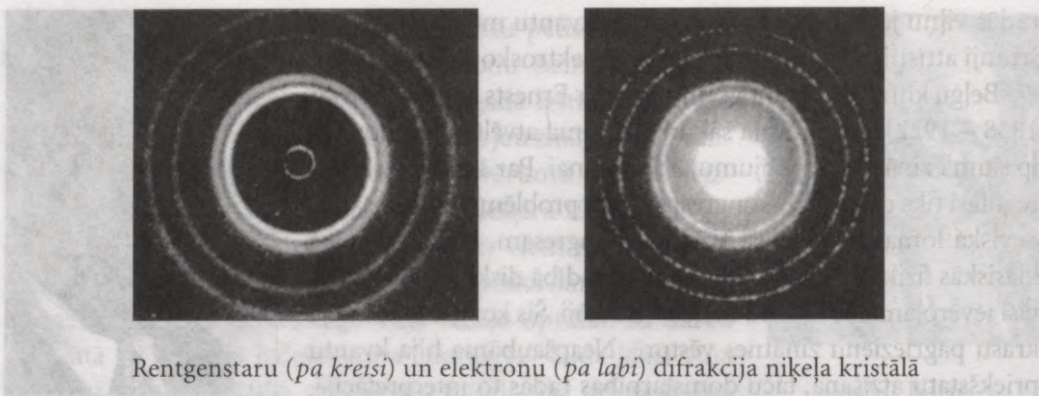
1927. gadā amerikāņu fiziķi Klintons Devisons (1881 – 1958) un Lesters Džermers (1896 – 1971) atklāja elektronu difrakciju niķeļa kristālā, kas apstiprināja Debrolji idejas pareizību. Viņi ieguva izkliedēto elektronu intensitātes maksimumu leņķi, kas apmierina difrakcijas nosacījumus rentgenstariem, kuru viļņu garums atbilst elektronu viļņu garumam. Piemēram, elektroni, kam ir 100 eV liela enerģija, saskaņā ar Debrolji vienādojumu ir saistīti ar 1,22 Å garu vilni. Šis lielums saskanēja ar eksperimenta rezultātiem. Debrolji viļņu daba nav noskaidrota, to izpēte ir nākotnes uzdevums.



Volfgangs Pauli
(1900 – 1958)



Pols Diraks
(1902 – 1984)



Rentgenstaru (*pa kreisi*) un elektronu (*pa labi*) difrakcija ničeļa kristālā

Kaut arī līdzība starp daļiņu, tai skaitā elektronu, un gaismas īpašībām ir konstatēta, elektronam viļņa daba izpaužas mazāk nekā fotonam. Elektrons biežāk pakļaujas klasiskās mehānikas likumībām nekā gaisma ģeometriskās optikas likumiem. Tas izskaidrojams ar to, ka elektrona viļņa garums laboratorijas apstākļos parasti ir mazāks par redzamās gaismas viļņa garumu. Elektronu viļņa garums ir ar tādu pašu kārtu kā rentgenstariem.

Šo faktu izmanto elektronu mikroskopā, ar kuru var iegūt 10 000 reizu lielāku palielinājumu nekā ar labākajiem optiskajiem mikroskopiem. Optiskajos mikroskopos, pateicoties difrakcijai, punkta attēls ir neliels plankumiņš, kura izmēri atbilst izmantotās gaismas viļņu garuma kārtai. Tāpēc nevar atšķirt divu punktu attēlus, ja attālums starp tiem ir mazāks par plankumiņu izmēriem. Mikroskopā nevar novērot objektus vai to detaļas, kuru izmēri ir mazāki par gaismas viļņu garumu. Ultravioletajiem stariem viļņu garums ir mazāks, taču izšķirtspējas ieguvums nav liels. Rentgenstarus mikroskopijā nevar izmantot, jo pagaidām tiem neprot izgatavot lēcas. Tādēļ ir saprotama lielā interese, kāda tiek veltīta elektronu mikroskopam. Šeit nav būtisku problēmu lēcu izgatavošanā elektronu kūļu pārveidošanai.

3. 9. Optiskie pētījumi kvantu fizikas laikmetā

Šis laika periods ir bagāts ar pētījumiem praktiski visās optikas nozarēs. Attīstās spektroskopija. Krievu fiziķis Dmitrijs Roždestvenskis (1876 – 1940) 1909. gadā izstrādāja anomālās dispersijas kvantitatīvās pētīšanas metodi, izmantojot krustotu interferometru un spektrogrāfu. Šī, t. s., “āķu” metode ļauj mērīt oscilatoru stiprumu un noteikt pārejas varbūtību atomos.

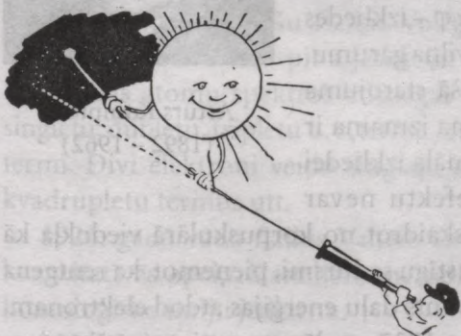
1913. gadā vācu fiziķis Johanness Štarks (1874 – 1957) novēroja spektrālīniju sašķelšanos elektriskajā laukā (Štarka efekts). 1919. gadā Štarkam piešķīra Nobela prēmiju.

Notika arī Einšteina relativitātes teorijas eksperimentāla pārbaude. Ja kāda daļiņa tuvojas Saulei ar gaismas ātrumu, tad, no Ņūtona mehānikas viedokļa, tā apraksta hiperbolisku orbītu, kuras fokuss atrodas Saules centrā. Šai orbītai būs tikai neliels liekums. Starp hiperbolas asimptotēm veidosies leņķis $2\alpha = 2GM/c^2R$, kur G – gravitācijas konstante, M – Saules masa, c – gaismas ātrums, R – periastrs (attālums no Saules centra līdz orbītas punktam, kas atrodas vistuvāk Saulei).

Ja daļiņas trajektorija pieskaras Saules virsmai, tad R ir Saules rādiuss un $2\alpha = 0$ ”, 87. Einšteins 1915. gadā pierādīja, ka relativitātes princips pieprasa divreiz lielāku nolieci

$2\alpha = 1'',75$. Par šādu lielumu izmainītos gaismas stara virziens no zvaigznes, kas atrodas tālu aiz Saules (un būtu redzama uz Saules diska malas). Stara nolieces dēļ zvaigznes redzamais virziens mainās par šādu leņķi radiāli prom no Saules. Gaisma no zvaigznes, kas redzama leņķī ν no Saules centra, gravitācijas iespaidā novirzīsies par lielumu $1'',75/\nu$. Minētā efekta novērošana iespējama tikai Saules aptumsuma laikā, kad aizklātā Saules diska tuvumā var redzēt un fotografēt zvaigznes. Dažus mēnešus pirms vai pēc aptumsuma fotografēšanas vēlreiz fotografē to pašu debess rajonu naktī un salīdzina zvaigžņu stāvokļus abos uzņēmumos.

Pirmo gravitācijas efekta novērošanas mēģinājumu 1918. gadā veica Likas observatorijas ekspedīcija. Tas neizdevās. Labas cerības deva 1919. gada 29. maija aptumsums, kad Saule atradās zvaigznēm bagātā Vērša zvaigznājā. Reāli iespējams nofotografēt 7. līdz 8. lieluma zvaigznes, kas atrodas ne tuvāk par Saules rādiusu no tās malas. Tuvākās zvaigznes aizsedz Saules korona. Pētījumus veica divas angļu ekspedīcijas. Viena ekspedīcija atradās Āfrikā, otra – Brazīlijā. Āfrikas ekspedīcijas darbu traucēja mākoņi, taču izdevās iegūt piecu zvaigžņu attēlus.



Zvaigznes staram, ejot tuvu garām Saulei, ir jānoliecas par nelielu leņķi

Zürich, 14. I. 13.

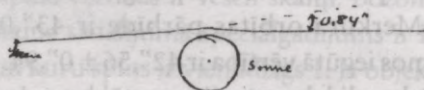
Aus

Hoch geehrter Herr Kollege!

Eine einfache theoretische Überlegung macht die Annahme plausibel, dass Lichtstrahlen in einem Gravitationsfelde eine Deviation erfahren.

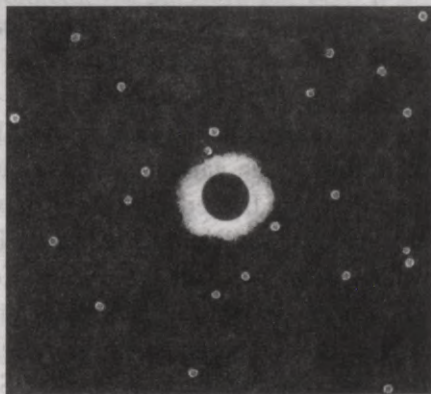
grav. Feld
Lichtstrahl

An Sonneneinde müsste diese Ablenkung $0,84''$ betragen und wie $\frac{1}{\nu}$ abnehmen (Abw. vom Sonnenmittelpunkt) ($R = \text{Sonnenradius}$).



Es wäre deshalb von grösstem Interesse, bis zu wie grosser Sonnenhöhe grossen Fixsterne bei Anwendung der stärksten Vergrösserungen bei Tage (ohne Sonnenfinsternis) gesehen werden können

Einsteina vēstule Džordžam E. Halem sakarā ar Saules gravitācijas iespaidu uz gaismu



1922. gada uzņēmums. Ar aplīšiem apzīmēti to zvaigžņu stāvokļi, kas izmantoti gaismas stara virziena izmaiņas noteikšanai

Veicot fotogrāfiju analīzi, ieguva nolieces leņķi $2\alpha = 1'',65$. Otrās ekspedīcijas darbs bija veiksmīgāks. Iegūtajā fotogrāfijā bija septiņu zvaigžņu attēli. Pēc diviem mēnešiem, kad Saule bija no šā zvaigznāja aizgājusi, ieguva kontroluzņēmumus. Novirze bija $1'',98$.

Amerikāņu ekspedīcija Austrālijā 1922. gada 21. septembrī ieguva 118 zvaigžņu uzņēmumus. Aptumsuma rajona kontroluzņēmumu izdarīja pusgadu vēlāk. Pēc mērījumu datu apstrādes un analīzes Džons Kempbels un Roberts Trimplers par visvarbūtīgāko uzskatīja leņķa vērtību $2\alpha = 1'',72$. Džordžs Bisbruks 1947. un 1952. gadā atbilstoši ieguva $2'',01$ un $1'',70$. Viņš brīdināja, ka pēdējo mērījumu laikā stiprs vējš izraisījis instrumentu svārstības. Gaismas stara nolieces mērījumi izdarīti arī turpmākajos gados, un tie principā apstiprināja relativitātes teorijas secinājumus.

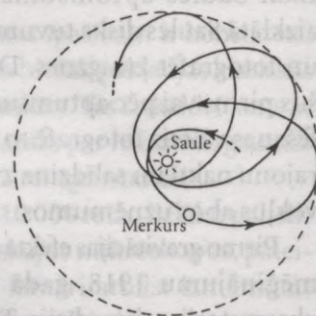
Relativitātes teorijas pārbaudei var izmantot arī Merkura orbītas precesiju. No vispārīgās relativitātes teorijas izriet, ka Merkura orbītas pārbīde ir $43'',03$ simtgadē. Novērojumos iegūtā vērtība ir $42'',56 \pm 0'',94$. Relativitātes teorijas pārbaudi laboratorijas apstākļos veica 1960. gadā, izmantojot Mesbauera efektu.

Saskaņā ar klasisko gaismas izkļiedes teoriju izkļiedētās gaismas viļņa garumam nav jāmainās. Gaismas viļņa periodiskā elektriskā lauka iespaidā elektrons svārstās ar lauka frekvenci un izstaro sekundāros (izkļiedētos) viļņus ar to pašu frekvenci.

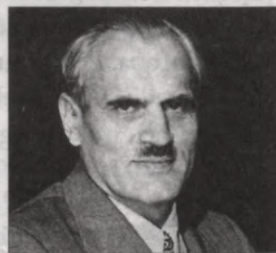
Amerikāņu fiziķis Arturs Komptons (1892 – 1962) 1922. gadā atklāja rentgenstaru viļņu garumu maiņu, izkļiedējoties no vāji saistītiem elektroniem. Komptons pētīja rentgenstaru izkļiedi parafīnā. Šajos eksperimentos visā pilnībā atklājās elektromagnētiskā starojuma korpuskulārā daba. Komptona atklātā efekta teoriju, kas balstījās uz kvantu priekšstatiem, attīstīja pats Komptons. Neatkarīgi no viņa to veica arī holandiešu fiziķis Peters Debajs (1884 – 1966).

Viļņu garumu izmaiņu $\Delta\lambda = \Lambda(1 - \cos\varphi)$, kur φ – izkļiedes leņķis, $\Lambda = h/m_e c = 0,0242 \text{ \AA}$ sauc par Komptona viļņa garumu. Komptona viļņa garums nav atkarīgs no krītošā starojuma viļņa garuma. Izkļiedētā starojuma viļņu garuma izmaiņa ir atkarīga tikai no izkļiedes virziena. Tā ir maksimāla izkļiedei atpakaļvirzienā. Tad $\Delta\lambda = 2\Lambda$. Komptona efektu nevar izskaidrot no viļņu optikas pozīcijām. To var skaidrot no korpuskulārā viedokļa kā divu daļiņu – rentgena kvanta un elektrona – elastīgu sadursmi, pieņemot, ka rentgena kvantam ir impulss $p = hv/c = E/c$. Sadursmē kvants daļu enerģijas atdod elektronam, kā tas izriet no mehānikas kustības likumiem. 1927. gadā par saviem pētījumiem Komptons saņēma Nobela prēmiju.

Ja elektroni, uz kuriem elastīgi izkļiedējas elektromagnētiskais starojums, ir relativistiski, tad izkļiedēto fotonu enerģija un impulss palielinās – novēro apgriezto



Relativitātes teorijas pārbaudei var izmantot arī Merkura orbītas precesiju



Arturs Komptons
(1892 – 1962)

Komptona efektu. Izkliedētā starojuma viļņu garums samazinās. Šo faktu izmanto, lai skaidrotu galaktiku fona starojuma rentgena komponenti.

Izteiksme $E = h\nu$ pēc būtības ir duālistiska. Tā saista kvantu raksturlielumu enerģijas porciju E un viļņu raksturlielumu frekvenci ν . No šīs sakarības izriet, ka lielas frekvences kvantiem atbilst liela enerģija. γ kvanta enerģija ($\nu \sim 10^{19}$ Hz) ir 10^{14} reizes lielāka par radiofrekvences ($\nu \sim 10^5$ Hz) kvanta enerģiju. Tādēļ kvantu efekti ir ļoti labi izteikti γ staru un rentgenstaru rajonā, bet tie ir nenozīmīgi radioviļņu rajonā, savukārt optiskajam spektram kvantu efekti atkal kļūst ievērojami.

Bez enerģijas $E = h\nu$ un impulsa $p = E/c$ kvantam piemīt arī kustības daudzuma moments jeb spins, kas vienlīdzīgs vienam, izteikts $h/2\pi$ vienībās. Kvantu var atrasties divos spina stāvokļos ar projekcijām ± 1 . Gaismas kvants ir pieskaitāms bozoniem. Bozoni ir kvazidaļiņas, kurām nav masas un kuru spina vērtības ir veseli skaitļi. Bozoni pakļaujas Bozes – Einšteina statistikai. Bozes – Einšteina sadalījuma speciālgadījums ir Planka formula fotoniem, kuriem nav miera masas un kuru spins ir vienlīdzīgs 1. Ja objekts, uz kuru krīt kvants, kvantu absorbē, tad tā kustības daudzuma moments tiek nodots objektam.

Atoma diskrētos stāvokļus, starp kuriem notiek izstarojošās pārejas, raksturo ar četriem kvantu skaitļiem. Šo kvantu skaitļu izmaiņas nosaka izvēles likumi. Tā magnētiskajam kvantu skaitlim m izpildās noteikums $\Delta m = 0; \pm 1$. Tas arī ir starojuma polarizācijas kvantu teorijas pamatā. Spina kvantu daba izpaužas tādā veidā, ka spins nevar ieņemt telpā jebkuru stāvokli, bet tikai noteiktus diskrētus stāvokļus. Nav šaubu, ka, tikai izmantojot fotonu spina orientāciju, var izprast gaismas polarizāciju no kvantu fizikas pozīcijām. Šeit jāatceras Ņūtona gaismas korpuskulu anizotropija, šo korpuskulu divas dažādās puses.

Vispārīgā gadījumā, ja gaismas plūsma satur vienādu skaitu pa labi polarizētu un pa kreisi polarizētu fotonu, tad šī gaismas plūsma ir lineāri polarizēta. Cirkulāri polarizēta gaisma saturēs kvantus tikai ar viena tipa spina momentu projekcijām. Eliptiski polarizētu gaismu iegūsim, ja kāds no spina stāvokļiem būs pārsvarā pār otru. Visos šajos gadījumos ir svarīgi, lai fotoni būtu koherenti. Ja fotoni nav koherenti, tad iegūst dabisku nepolarizētu gaismu.

1925. gadā šveiciešu fiziķis Volfgangs Pauli atklāja atoma čaulu aizpildīšanās likumības un ieviesa spina jēdzienu kvantu mehānikā (Nobela prēmija 1927. g.). Likumības atomu spektros atkarīgas no čaulu aizpildīšanas pakāpes, tādējādi rodas singletu, dubletu, tripletu u. c. termi. Ja ārējā čaulā ir viens elektrons, tad veidojas dubletu termi. Divi elektroni veido singletu un tripletu termus, trīs elektroni – dubletu un kvadrupletu termus utt.

1926. gadā vācu fiziķis Valters Gerlahs (1889 – 1979) izstrādāja precīzu atomu kvantitatīvās spektrālnalīzes metodi. Viņš izmantoja iekšējo standartu un ieviesa homoloģisko līniju jēdzienu.

1928. gadā indiešu fiziķis Čandrasekara Venkata Ramans (1888 – 1970) atklāja, ka pēc gaismas izkļedes vielā parādās vājas spektrālās līnijas, kas nav krītošās gaismas spektrā. Šo parādību nosauca par Ramana efektu jeb kombinatīvo izkliedi. Ramana līnijas ir pārbīdītas attiecībā pret krītošās gaismas spektrālīniju par lielumu, kas atkarīgs tikai no



Čandrasekara Venkata
Ramans
(1888 – 1970)



Leonīds Mandelštams
(1879 – 1944)



Sergejs Vavilovs
(1891 – 1951)

izkļiedējošās vielas īpašībām. 1930. gadā Ramanam piešķīra Nobela prēmiju. Vienlaikus ar Ramanu kombinatīvo izkļiedi novēroja Leonīds Mandelštams (1879 – 1944).

1928. gadā franču fiziķis Leons Briljuēns (1889 – 1969) izstrādāja cietvielu zonu teoriju. Nedaudz agrāk, 1922. gadā, viņš paredzēja spektra sīkstruktūras izmaiņas, gaismai izkļiedējoties uz blīvuma fluktuācijām, kas pazīstams kā Mandelštama – Briljuēna efekts. Leonīds Mandelštams laikā no 1918. gada līdz 1926. gadam pētīja gaismas izkļiedi elastīgā vidē un paredzēja izkļiedētās gaismas spektrālīniju sašķelšanos. Blīvuma fluktuācijas var iedomāties kā elastīgo viļņu, kas izplatās vidē, interferences rezultātu. Katrs no elastīgajiem viļņiem veido periodisku režģi. Plakans gaismas vilnis, izplatoties šādā vidē, difragē. Izkļiedētajā gaismā parādīsies komponentes, kuru frekvence ir $v \pm \Delta v$, kur $\Delta v = v/\Lambda$ ir blīvuma izmaiņas biežums elastīgā vidē, Λ – izkļiedējošā viļņa garums. Mandelštama – Briljuēna izkļiede ir analoga difrakcijai ultraskaņas viļņos, frekvenču pārbīde ir maza $\Delta v/v \approx 2v/c \approx 10^{-5} - 10^{-6}$.

1931. gadā padomju fiziķis Jakovs Frenkels (1894 – 1952) fizikā ieviesa eksitona (latīņu valodā *excito* – ierosinu) jēdzienu un izstrādāja eksitonu teoriju. Eksitons ir kvazidaļiņa, kas raksturo ierosinātu stāvokli dielektriķī vai pusvadītājā. To, ka dielektriķiem nenovēro fotovadāmību, Frenkels skaidroja ar enerģijas izmantošanu eksitonu veidošanai. Eksitons var kristālā migrēt, nepārnēsot elektrisko lādiņu un masu. Pusvadītājos eksitons ir ūdeņražveidīgs stāvoklis.

Tajā pašā laikā, izmantojot Pauli principu, Zommerfelds varēja izskaidrot atšķirību starp strāvas vadītājiem un izolatoriem.

1933. gadā, vizuāli novērojot interferences ainu ļoti vājā apgaismojumā, Sergejs Vavilovs konstatēja fotonu skaita fluktuācijas, pateicoties asi izteiktai acs jutības robežai. Vavilova eksperimentos fotonu skaits, kas nonāca gaišajā interferences joslā, bija ap 10, kas atbilst acs jutības robežai. Nelielas gadījuma rakstura fotonu skaita palielināšanās reizē varēja saskatīt gaišo joslu. Fotonu skaitam samazinoties, tā izzuda. Vavilova eksperimenti ir nozīmīgi tajā ziņā, ka vienlaikus varēja novērot interferences ainu, kas saistīta ar gaismas viļņu dabu, un gaismas fluktuācijas, kuras ir korpuskulārās dabas izpausme.

1935. gadā nīderlandiešu fiziķis Fricis Cernike (1888 – 1966) izstrādāja fāžu kontrasta metodi mikroskopijā fāžu objektu novērošanai. Metodē izmantota objekta telpiskā spektra (difrakcijas ainas) filtrēšana. 1953. gadā Cernike saņēma Nobela prēmiju.

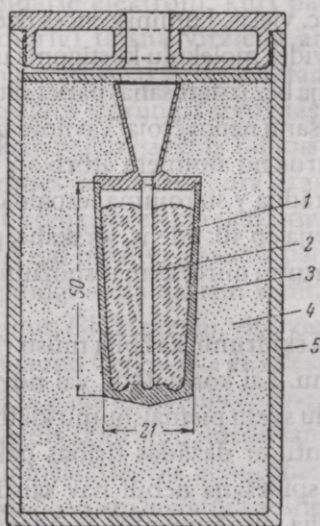
1939. gadā T. Vudsons izmantoja atomu absorbcijas metodi, lai noteiktu dzīvsudraba tvaiku koncentrāciju gaisā. Tajā pašā gadā Orens Molers (1908 – 1985), izstrādāja metodi elektronu koncentrācijas noteikšanai pēc Balmera sērijas līniju saplūšanas. Metodē izmantots fakts, ka spektra sērijas robežas tuvumā līnijas sāk savstarpēji pārklāties. Atsevišķi redzamo līniju skaits ir atkarīgs no to platuma. Līniju platums savukārt atkarīgs no elektronu koncentrācijas. Izmantojot Štarka efekta teoriju, Molers pamatoja formulu:

$$\lg n_e = 23,06 - 7,5 \lg n,$$

kur n_e – elektronu koncentrācija, cm^{-3} , n – Balmera sērijas pēdējās redzamās līnijas galvenais kvantu skaitlis. Tā, piemēram, balto punduru spektros $n = 7$, galvenās secības zvaigznēm $n = 19$, agrā tipa supergigantiem $n = 28$, līdz šim augstākais sērijas loceklis konstatēts objektam HD 193182, kur $n = 42$. Elektronu koncentrācijas atšķirības dažādos kosmiskos objektos var būt visai ievērojamas. Piemēram, ja $n = 10$, tad $\lg n_e = 15,56$, bet ja $n = 40$, tad $\lg n_e = 11,05$.

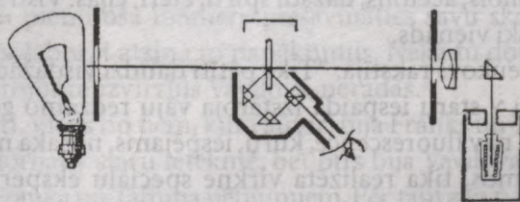
1948. gadā IX Ģenerālā mēru un svaru konference definēja gaismas stipruma mērvienību kandelu (1 cd ir gaismas stiprums, ko normāles virzienā izstaro $1/600\,000 \text{ m}^2$ starotāja virsmas laukums, ja starotāja temperatūra ir vienāda ar platīna sacietēšanas temperatūru (2042 K) 101 325 Pa lielā spiedienā).

Gaismas spožuma mērījumiem izmanto fotometra galviņu. Ar tā palīdzību var salīdzināt divus gaismas avotus. Fotometra galviņas viena no sastāvdaļām ir necaurspīdīga abpusēji balta plāksnīte. Plāksnītes katru pusi apgaismo salīdzināmie gaismas avoti. Ar fotometra galviņas palīdzību pēc primārā gaismas avota – etalona – var graduēt citu gaismas avotu, kuru pēc tam var izmantot par sekundāro etalonu.

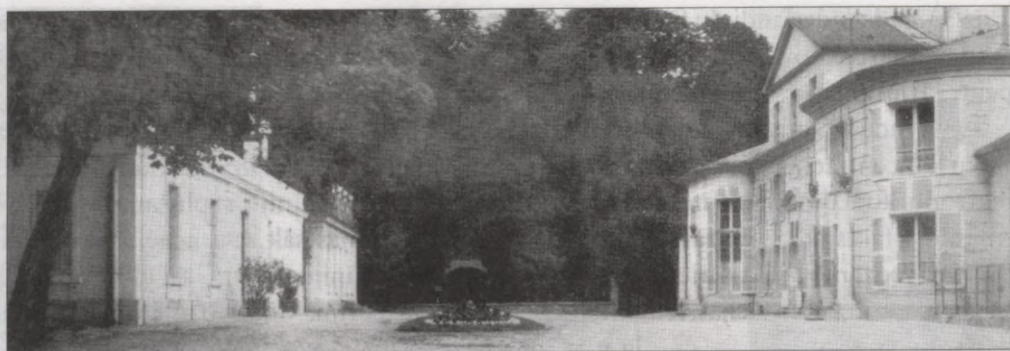


Gaismas etalona shēma.

1 – ķīmiski tīrs platīns, $T = 2042 \text{ K}$, 2 – caurulīte no kausēta torija oksīda ThO , $T = 2042 \text{ K}$, 3 – tīģelis no kausēta torija oksīda, 4 – torija oksīda pulveris, 5 – kvarca trauks



Sekundārā gaismas avota graduēšana pēc etalona



Paviljons Parīzes tuvumā, kur izvietots Starptautiskais mēru un svaru birojs

3. 10. Čerenkova efekts

1934. gadā tika atklāta viena no interesantākajām un skaistākajām fizikas parādībām – Čerenkova efekts. Vavilova aspirants Pāvels Čerenkovs (1904 – 1990) veica luminiscences pētījumus. Luminiscenci ierosināja ar rādija γ starojumu. Eksperimentu laikā Čerenkovs novēroja jaunu starojuma veidu, kas nebija luminiscence. Čerenkovs konstatēja, ka rādija γ starojuma iespaidā mirdz ne tikai urāna sāļu šķīdums, ar ko viņš eksperimentēja, bet arī paši šķīdinātāji. Šim faktam pašam par sevi nevajadzēja izraisīt sevišķu interesi, jo šķīdumu un cietu vielu spīdēšana dažādu starojumu iespaidā ir plaši pazīstama. Parasti tā ir luminiscence, un to vairākumā gadījumu nodrošina nelielu piemaisījumu klātbūtne paraugos. Piemaisījuma molekulas ierosinās ārējā starojuma iespaidā un pēc tam izspīd.

Molekulas ierosināta stāvokļa dzīves laiks luminiscencē nevar būt mazāks par 10^{-10} s. Šis laiks ir pietiekams, lai uz ierosināto molekulu iedarbotos dzēšanas procesi. Luminiscences dzēšanu var izraisīt speciālas vielas – luminiscences dzēsēji. Ļoti aktīvi luminiscences dzēsēji ir sudraba nitrāts, kālija jodīds, nitrobenzols u. c. vielas. Luminiscences dzēšanu izraisa arī temperatūras paaugstināšana. Tad palielinās vides molekulu kustīgums un sadursmju biežums, kā iespaidā ierosināto molekulu enerģija bez izstarošanas pāriet siltumā.

Čerenkova eksperimentos jaunatklātā starojuma dzēšanu nenovēroja. Vavilovs izteica hipotēzi, ka bremzēšanās dēļ izstaro paši elektroni, kurus no atomiem atbrīvo γ stari. Jaunajam spīdēšanas veidam bija interesanta īpašība: rādija γ starojuma iespaidā mirdzēja visi tīrie šķīdumi, kas tika pārbaudīti. To skaits bija ap 40: ūdens, sērskābe, glicērīns, ksilols, acetons, dažādi spirti, ēteri, eļļas. Visu šķīdumu mirdzēšanas spožums bija praktiski vienāds.

Čerenkovs rakstīja: “Tika pētīti daudzi visdažādākie šķīdumi, kas bija mūsu rīcībā. Tie visi γ staru iespaidā izstaroja vāju redzamo gaismu. Lai konstatētu, vai novērotā gaisma nav fluorescence, kuru, iespējams, nosaka nelielu svešu piemaisījumu klātbūtne šķīdumos, tika realizēta virkne speciālu eksperimentu ar dažādas tīrības pakāpes šķīdumiem. Šo eksperimentu rezultāti parādīja, ka spīdēšana nebūt nav saistīta ar piemaisījumu klātbūtni. Konkrēti: spožumi, ko izmērija eksperimentos ar ūdensvada ūdeni, destilētu ūdeni un trīskārši pārtvaicētu ūdeni kvarca traukā oksidētāju klātbūtnē, izrādījās vienādi.”

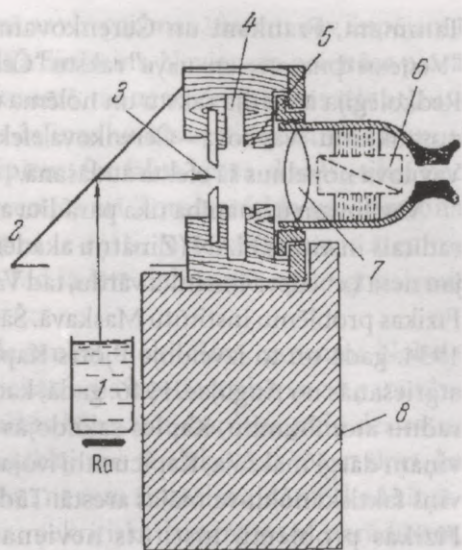
Čerenkova spīdums bija ļoti vājš, un tā novērošanai izmantoja fotometrēšanu pēc jutības sliekšņa. Metodē izmantots fakts, ka jutības sliekšņa enerģija vienam un tam pašam novērotājam ir konstants lielums, ja ir panākta pietiekama acs adaptācija (1 – 1,5 stundas). Tādā ceļā tika noskaidrotas Čerenkova starojuma īpašības: intensitāte, spektrālais sastāvs, polarizācija, kā arī izstarošanas virziens.

Īsu savu pētījumu kopsavilkumu Čerenkovs publicēja 1934. gadā žurnālā “Доклады Академии Наук”. Tajā pašā žurnālā bija iespiests Vavilova raksts, kurā Čerenkova atklātais efekts bija skaidrots ar sekundāro elektronu bremzēšanas starojumu.

Pēc diviem gadiem, t. i., 1936. gadā, Čerenkovs publicēja otru rakstu, kurā aplūkoja savdabīgu parādību: γ staru izraisītais mirdzums izplatījās noteiktā konusā. Čerenkovs centās savus vērojumus skaidrot no Vavilova hipotēzes viedokļa. Taču šāda skaidrojuma nepamatotību pamanīja Ilja Franks (1908 – 1990). Franks bija Vavilova līdzstrādnieks, kuram bija uzdots vadīt Čerenkova darbu. Nedaudz vēlāk Franks aptvēra, ka Čerenkova atklāto starojumu izraisa sekundārie elektroni, kuri pārvietojas vidē vienmērīgi taisnā virzienā ar ātrumu, kas pārsniedz gaismas ātrumu dotajā vidē.

Izveidot teoriju uz izvirzītās idejas pamata Frankam palīdzēja Igoris Tamms (1895 – 1971). Atceroties semināru, kurā Franks ziņoja par savu Čerenkova efekta skaidrojumu, S. Frišs rakstīja: “Vavilovs, kurš bija klāt ziņojuma laikā, visai pozitīvi atsaucās par izklāstīto teoriju un uzsvēra Franka nopelnus. Viņam bija pilnīgi sveša dažiem vadītājiem piemītošā maniere piesavināties savu skolnieku nopelnus. Gluži pretēji, viņš vienmēr labprāt atzina to panākumus. Nekādu domu par to, ka jauno Čerenkova efekta skaidrojumu izvirzījis Vavilovs, neradās.”

1937. gadā tika publicēti divi raksti. Viens no tiem, kura autori bija Franks un Tamms, bija veltīts šķidrums mirdzēšanas teorijai γ staru ietekmē, bet otrs bija Vavilova raksts, kurā minēta šī teorija, atsaucoties uz Franka un Tamma pētījumiem. Pēc tam gan padomju, gan pārējo valstu literatūrā nostiprinājās nosaukums “Čerenkova efekts”. Čerenkova efekts par Vavilova – Čerenkova efektu pārtapa vēlāk, kad Vavilova jau vairs nebija. Kā tas notika, par to stāsta Boriss Bolotovskis, kurš 1957. gadā, gadu pirms Nobela prēmijas piešķiršanas



Čerenkova eksperimenta shēma: 1 – trauks ar šķidrumu, 2 – spogulis, 3 – apaļa diafragma, 4 – optiskais ķīlis, 5 – gaismas filtrs, 6 – polarizators, 7 – lēca, 8 – svina aizsargbloks. Gaisma, kas nāk no šķidrums, atstarojas no spoguļa (2) un caur diafragmu (3) nonāk uz okulāra lēcas (7). Tā dod acs tiklenē palielinātu diafragmas attēlu. Tas samazina acs nekontrolējamo kustību izraisītās kļūdas, kuru cēlonis ir acs tiklenes dažādu zonu atšķirīga jutība. Starojuma intensitātes noteikšanai optisko ķīli (4), kas graduēts pēc caurlaidības, ieregulē stāvokli, kad parādās vai izzūd gaismas sajūta

Tammam, Frankam un Čerenkovam, iesniedza žurnālam “Успехи физических наук” rakstu “Čerenkova efekta teorija”. Redkolēģija izskatīja rakstu un nolēma to publicēt, izmantojot nosaukumu “Vavilova – Čerenkova efekta teorija”, lai uzsvērtu Vavilova nopelnus šā efekta atklāšanā.

Vavilovam uzmanība tika parādīta arī citā veidā. Tā kā viņa radītais institūts FIAN (Zinātņu akadēmijas Fizikas institūts) jau nesa Lebedeva institūta vārdu, tad Vavilova vārdā pārdēvēja Fizikas problēmu institūtu Maskavā. Šā institūta ēku uzbūvēja 1934. gadā un to izveidoja Pjotrs Kapica (1894 – 1984) pēc atgriešanās no Anglijas. 1946. gadā, kad tika izvērsti darbi, lai radītu atombumbu, Kapica saķīdājās ar L. Beriju. Šis strīds viņam dārgi maksāja, Kapicu atbrīvoja no darba institūtā, un viņš faktiski nokļuva mājas arestā. Tādēļ Vavilova nāves brīdī Fizikas problēmu institūts nevienam “nepiederēja”, un birokrātija tam piedēvēja Vavilova vārdu.

Par Čerenkova efekta atklāšanu un skaidrošanu Čerenkovs, Tamms un Franks 1958. gadā saņēma Nobela prēmiju. Vavilovs savu skolnieku starptautisko atzinību nesagaidīja. Vavilovam, kurš bija lielisks cilvēks un spējīgs zinātnieks, pēc S. Friša vārdiem, neveicās pēc nāves, jo viņam piedēvēja atklājumu, kuru viņš neveica, un viņa vārdā nosauca institūtu, kuru viņš neveidoja.

Čerenkova starojuma intensitāti laika vienībā apraksta Franka – Tamma formula:

$$I = (e^2 v / c^2) \int (1 - c^2 / n^2 v^2) \omega d\omega.$$

Integrēšana jāizdara pa visām starojuma frekvencēm, kurām izpildās noteikums $v > c/n(\omega)$, kur v – lādētās daļiņas kustības ātrums. Palielinoties daļiņu ātrumam, starojuma intensitāte frekvencei ω pieaug līdz maksimālai vērtībai:

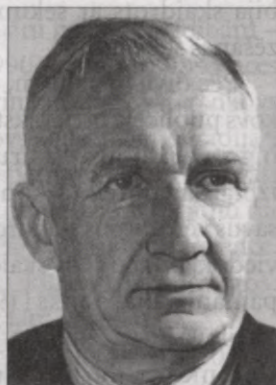
$$I(\omega) = (e^2 / c) (1 - 1/n^2) \omega,$$

kura tiek sasniegta, kad daļiņas ātrums v kļūst vienlīdzīgs gaismas ātrumam vakuumā (c). Čerenkova starojuma intensitāte ir lielāka augstām frekvencēm, tādēļ starojumā pārsvarā ir zilie toņi.

Jāpiebilst, ka jau 1904. gadā Arnoldu Zommerfeldu interesēja jautājums, kas notiks, ja elektrons vakuumā kustēsies ātrāk par gaismu. Izrādījās, ka tādā gadījumā elektrons zaudē enerģiju, to izstarojot šaurā leņķī Θ attiecībā pret kustības virzienu. Leņķa lielums atkarīgs no elektrona kustības ātruma: $\cos \Theta = c/v$. Netaudz agrāk uz iespēju, ka elektrons var izstarot, kustoties ar ātrumu, kas pārsniedz gaismas ātrumu, norādīja arī Viljams Tomsons (Kelvins). Šie



Ilja Franks
(1908 – 1990)



Igors Tamms
(1895 – 1971)



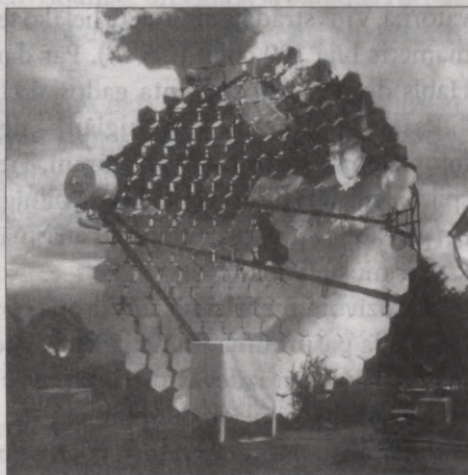
Pāvels Čerenkovs
(1904 – 1990)

darbi tika aizmirsti, jo elektrona kustība vakuumā ar virsgaismas ātrumu nav iespējama pēc relativitātes teorijas, kā to 1905. gadā pierādīja Einšteins. Nevienam neienāca prātā doma – ja virsgaismas ātrums nav iespējams vakuumā, tas nenozīmē, ka tas nav atļauts vielā. Ir iespējams, ka vielā elektroni vai arī citas daļiņas kustas ar virsgaismas ātrumu, un tas nerunā preti relativitātes teorijas principiem. Šis fakts kļuva skaidrs tikai pēc Tamma un Franka darbu publicēšanas. Tad atcerējās arī Zommerfelda un Tomsona idejas. Kļuva skaidrs, ka Zommerfelda aprēķini ir reāli, ja tajos gaismas ātrumu vakuumā nomaina pret gaismas ātrumu vidē. Tad lādēta daļiņa var apsteigt gaismu un radīsies Čerenkova starojums.

Akadēmiķis Igors Tamms 1958. gada 11. decembrī Stokholmā, saņemot Nobela prēmiju, sacīja: “Jūs redzēsiet, ka šā starojuma mehānisms ir ļoti vienkāršs. Šo parādību varēja viegli paredzēt uz klasiskās elektrodinamikas bāzes jau daudzus gadu desmitus agrāk, nekā tā faktiski tika atklāta. Kādēļ tad šis atklājums tā aizkavējās? Man šķiet, ka šeit mums ir darīšana ar pamācošu piemēru, nebūt ne retu situāciju zinātnē, kad zinātnisko progresu bremzē pareizu fizikālu principu nekritiska izmantošana parādībām, kas ir ārpus šo principu lietojamības robežām. Daudzu gadu desmitu laikā visus jaunus fizikus mācīja, ka gaisma (un vispār elektromagnētiskie viļņi) var tikt izstaroti tikai elektrisko lādiņu nevienmērīgā kustībā. Šīs teorēmas pierādījumam atklātā vai slēptā veidā izmantoja faktu, ka relativitātes teorija nepieļauj kustību ar virsgaismas ātrumu. Saskaņā ar šo teorēmu neviens materiāls ķermenis nav spējīgs pat sasniegt gaismas ātrumu. Taču ilgu laiku šī teorēma bez kādiem iebildumiem tika uzskatīta par pareizu.”

Čerenkova efektam līdzīgas parādības jau agrāk bija pazīstamas hidrodinamikā un akustikā. Viļņu izplatīšanās ātrums pa ūdens virsmu ir apmēram 1 m/s. Ja viļņus uz ūdens virsmas veido laiva, kuteris vai kāds cits objekts, kura kustības ātrums ir lielāks par viļņu izplatīšanās ātrumu, tad šie viļņi no objekta priekšgala izplatās leņķī Θ attiecībā pret objekta kustības virzienu, kur $\cos\Theta = u/v$. Šeit ar u apzīmēts viļņu kustības ātrums, ar v – objekta kustības ātrums. Aiz kustīgā objekta, t. s. ķīļūdenī, viļņi izplatās cits citam pretī un savstarpēji dzēšas, tādēļ tur viļņu nav.

Gaisā var izplatīties akustiskie jeb skaņas viļņi, kuru ātrums ir ap 330 m/s. Tos var ierosināt ķermenis, kas kustas vienmērīgi, ja tā ātrums pārsniedz skaņas ātrumu. Labi zināms, ka lodes lidojumu pavada raksturīgs svilpiens. Lode, kas lido ātrāk par skaņu, kļūst par skaņas viļņu avotu. Šie viļņi veido konisku virsmu un izplatās virzienā Θ attiecībā pret



Čerenkova teleskops Arizonā. Tas sastāv no paraboliskiem spoguļiem, kuru fokusos novietoti fotoelektronu pavairotāji. Ar šo teleskopu var uztvert vāju Čerenkova starojumu, ko izraisa sekundāro daļiņu lavīnas. Lavīnas rodas lielas jaudas kosmisko staru darbības dēļ

lodes kustības virzienu, kur Θ aprēķina līdzīgi kā iepriekšējā gadījumā. Ja lodes kustības ātrums ir mazāks par viļņa kustības ātrumu, tad lode vairs “nesvelp”. Par līdzīgu skaņas avotu kļūst arī lidmašīna, ja tā kustas ar virsskaņas ātrumu. Tādā gadījumā radītā skaņa nebūs svilpiens, bet gan dārdi.

1947. gadā amerikāņu pētnieks Getings ieteica izmantot Čerenkova starojumu ātru lādētu daļiņu reģistrēšanai. Taču tā laika fotoelektronu pavairotāju (FEP) jutība bija par mazu, lai konstatētu visai vājo Čerenkova starojumu. Getinga ideja tika realizēta pēc četriem gadiem. Angļu zinātnieks Dželli izveidoja Čerenkova skaitītāju, ar kuru varēja reģistrēt atsevišķas ātras kosmiskā starojuma daļiņas.

3. 11. Astronomija sagādā pārsteigumus

1929. gadā amerikāņu astronoms Edvīns Habls (1889 – 1953) novēroja spektrālīniju sarkano pārbīdi tālu miglāju spektros. Spektrālīniju pārbīdi var skaidrot ar Doplera efektu vai gravitācijas lauka iespaidu. Tā kā pārbīde gravitācijas laukā ir niecīga, pagaidām vienīgais saprātīgais skaidrojums ir Habla pieņēmums, ka tas ir izteikts Doplera efekts, kur $\lambda = \lambda_0(1 + v/c)$. Pārbīdītās līnijas spektrā parādās raksturīgās grupās, tāpēc to atšifrēšana ir viennozīmīga.

Edvīns Habls – ievērojamais galaktiku pētnieks – pēc izglītības bija jurists. Par astronomiju viņš sāka interesēties 1914. gadā. Pēc Pirmā pasaules kara, sekojot Džordža Heila (1868 – 1938) uzaicinājumam, Habls sāka strādāt Vilsona kalna observatorijā. Viņš strādāja ar tā laika lielāko teleskopu, kura spoguļa diametrs bija 100 collu (2,5 m). Par darbu ar šādu teleskopu Habls domāja jau studenta gados. 1917. gadā viņš rakstīja: “..Pastāv neskaitāmi vāji miglāji – neskaidri plankumi uz fotoplatēm, bez skaidrām kontūrām. Tie var būt planetārie vai spirālīe miglāji vai arī vēl kāda cita pilnīgi atšķirīga to kategorija. Tie var arī nebūt miglāji, bet gan kopas. Lai šos jautājumus atrisinātu, nepieciešams jaudīgāks instruments par tiem, kādi ir mūsu rīcībā.”

Pārdzīvojumiem bagāta ir Vilsona observatorijas 100 collu teleskopa tapšanas vēsture. Pēc Heila pasūtījuma Francijā 1907. gadā tika izgatavots 100 collu spogulis. Izdevumu segšanai Heilam izdevās pierunāt savu paziņu Losandželosas biznesmeni D. Hūkeru atvēlēt 45 000 dolārus. Jāpiebilst, ka Heils ir ļoti daudz darījis Jērksa, Vilsona un Palomaras kalna observatorijas attīstībā un jaunu instrumentu iegādē. Diemžēl pēc spoguļa nogādes Kalifornijā konstatēja, ka tas ir gaisa pūslīšu caurausts. Heils lika novietot šo stikla disku noliktavā un pasūtīja jaunu, kuru izgatavoja 1910. gadā. Taču šoreiz stikla disku nenācās vest uz Kaliforniju, tas saplaisāja dzesēšanas procesā.

Heils nolēma izmantot pirmo disku, kuru šim nolūkam slīpēja un pulēja. Viss norisa labi līdz tam brīdim, kad vajadzēja izmērīt spoguļa liekuma rādiusu. Lai to izdarītu, spoguļi novietoja vertikāli un apgaismoja ar mazu lampiņu, t. i., tika izmantota Fuko ēnu metode. Ja spogulis ir ideāls, tad ar Fuko nazi vienlaikus var aizēnot visu gaismas kūli. Ja spoguļa virsmas forma nav ideāla, daļa gaismas nazim iet garām. Optiķis, kas



Edvīns Habls
(1889 – 1953)

pārbaudīja spoguļi, konstatēja, ka spoguļis it kā deformējas sava svara iespaidā. Tas varētu būt tikai stikla zemas kvalitātes gadījumā. Beidzot noskaidrojās, ka cēlonis ir pavisam cits. Izrādījās, ka telpā, kur notika pārbaude, gaiss bija blīvāks tajā gaisa slānī, kur atradās spoguļa lejasdaļa, salīdzinot ar blīvumu tā augšdaļā. Šā iemesla dēļ gaismas stari izliecās, radot iespaidu, ka spoguļis deformēts. 1917. gadā spoguļa apstrāde bija pabeigta, un Heils aicināja darbā Edvīnu Hablu. Taču 1917. gada 6. aprīli ASV iesaistījās Pirmajā pasaules karā, un Habls rakstīja Heilam: "Diemžēl esmu spiests atteikties, jo dodos karā."

Novembrī teleskops bija gatavs un notika tā pārbaude, kurā piedalījās Heils, observatorijas līdzstrādnieks Volters Adamss un Heila draugs Alfreds Noiess. Heila biogrāfs Raitis apraksta šo gadījumu: "Lidzko teleskops bija vērsts uz Jupiteru, tā Heils pieplaka okulāram, iztvīcis no nepacietības uzzināt, vai visi šie ilgje saspringtā darba gadi vainagojušies ar panākumiem. Viņš paskatījās – un nekā nesacīja, bet viņa sejas izteiksme liecināja par šausmām, kas viņu pārņēmušas. Pēc viņa palūkojās Adamss, un viņa sejā parādījās tā pati izteiksme. Viņi abi it kā sastinga: viena attēla vietā viņi okulārā ieraudzīja sešus vai septiņus, kas pārklāja cits citu."

Spoguļis bija it kā sadalījies vairākās daļās, un katra daļa deva savu planētas attēlu. Atlika tikai gaidīt un cerēt, ka nakts vēsuma iespaidā spoguļis iegūs atkal iepriekšējo formu. Šādām cerībām bija zināms pamats, jo strādnieki dienā nebija aizvēruši torņa lūku un Saule bija sasildījusi spoguļi. Atceroties šo starpgadījumu, Noiess rakstīja:

"Tur augšā, es zinu, debesu izlūki stāv,
Gatavi plašumus iekarot,
Lai jaunas pasaules zinātnei vērtu.
Uz šo mirkli viņi gadsimta ceturksni gaidījuši."

Raksturojot šā mirkļa pārdzīvojumus, Heils vēlāk sacījis, ka Noiesa vārsmā nebūt nav pilnā mērā atspoguļojusi situācijas dramatismu.

Pēc trim uztraukumu pilnām stundām zinātnieki sastapās no jauna. Jupiters jau bija norietējis, tādēļ teleskopu vērsa pret Vegu. Pētniekiem par lielu atvieglojumu, teleskops darbojās lieliski. Šis instruments darbojas vēl šobrīd.

1919. gadā Habls atgriezās no Francijas un pieņēma Heila priekšlikumu. Viņš veiksmīgi izmantoja Hūkera teleskopa priekšrocības, lai pētītu tālos Visuma objektus. Taču arī šā teleskopa īpašības neapmierināja astronomu pieaugošās prasības. 1928. gadā Heils rakstīja: "100 collu Hūkera teleskops Vilsona kalna observatorijā ļāva atrisināt daudzas fundamentālas astronomijas un fizikas problēmas, kas nebija pa spēkam 60 collu



Ar Hūkera 100 collu teleskopu Habls veica lielāko daļu miglāju pētījumu. 1929. gadā Habls konstatēja sakarību starp galaktiku spektrālliniju sarkano pārbīdi un attālumu līdz galaktikām

reflektoram, un sagatavoja ceļu uzbrukumam svarīgākām problēmām, kuru risināšanai vajadzīgi lielāki instrumenti... Lielāks teleskops nodrošinās nepieciešamo gaismas spējas ieguvumu, tāldarbību un fotogrāfisko izšķirtspēju, kā arī dos iespēju izmantot idejas un iekārtas, kas radušās galvenokārt uz fizikas un ķīmijas fundamentālo panākumu pamata. Šie panākumi, kas pēkšņi pārvērtā spektroskopiju no empīriskas metodes precīzā un racionālā zinātnē, bez šaubām ļaus veikt daudz jaunu atklājumu ar šo instrumentu.”

Pēc ilgām pārrunām Rokfelleru fonda starptautiskās izglītības nodaļa atvēlēja līdzekļus 200 collu (5 m) reflektora būvei Palomaras observatorijā, kuru apkalpos Kalifornijas Tehnoloģiskā institūta līdzstrādnieki sadarbībā ar Vilsona kalna observatoriju. 1949. gadā Vilsona kalna observatoriju un Palomaras observatoriju organizatoriski apvienoja Heila observatorijā. 200 collu teleskopa celtniecība ilga līdz 1948. gadam, un tagad tas ir ieguvis Heila teleskopa nosaukumu. Pirmo uzņēmumu ar jauno teleskopu Habls veica 1949. gada 26. janvārī. Strādājot ar Heila teleskopu, Hablam izdevās novērot objektus, kuru attālums pārsniedza 500 miljonus gaismas gadu.

Heila observatorija veica ļoti plašu pētījumu programmu. Viens no šīs programmas uzdevumiem bija radiogalaktiku pētījumi. 1946. gadā tika reģistrēts radiostarojums no Gulbja zvaigznāja. Taču radiopētījumu precizitāte bija par mazu, lai noteiktu šā starotāja atrašanās vietu. Tikai 1951. gadā izdevās tiktāl palielināt precizitāti, lai sāktu šā objekta meklēšanu pēc optiskā starojuma. Atklātais starotājs ieguva Gulbja A nosaukumu.

Gulbi A, strādājot Heila observatorijā, atklāja Valters Bāde (1893 – 1960). Bāde uzskatīja, ka nofotografētais objekts ir divu galaktiku sadursmes sekas. Rūdolfs Minkovskis (1895 – 1976) šo viedokli apstrīdēja. Bāde bija par savu hipotēzi tiktāl pārliecināts, ka piedāvāja derības uz 1000 dolāriem. Minkovskis pierunāja likmi pazemināt līdz viskija pudelei. Strīdīgās puses vienojās, ja objekta gāzes spektrā atklāsies emisijas līnijas, to varēs uzskatīt par divu galaktiku sadursmes apliecinājumu. Pēc dažiem mēnešiem līnijas atklāja. Minkovskis strīdā zaudēja. Tiesa, Bāde pēc tam žēlojās, ka Minkovskis zaudēto viskiju pats arī izdzēris. Varbūt, ka tas bija arī taisnīgi, jo vēlākie pētījumi parādīja, ka Gulbja A radiostarojums rodas šā starotāja centrālās daļas eksplozijas, nevis galaktiku sadursmes dēļ.

Jo tālāk atrodas galaktika, jo ātrāk tā attālinās no mums. Tās, līdz kurām ir 14 miljoni parseku liels attālums, kustas ar 1200 km/s lielu ātrumu. 180 miljoni parseku tālām galaktikām relatīvās kustības ātrums attiecībā pret mums jau ir 15 000 km/s, bet 660 miljoni parseku tālām – 61 000 km/s.

Astronomiem diemžēl grūtības sagādā precīza attāluma noteikšana līdz tālām galaktikām, tādēļ nav vienprātības par Habla konstantes H_0 skaitlisko vērtību. Habls 1929. gadā noteica tās vērtību 530 km/s-Mps, no kuras izriet Visuma vecums –



Valters Bāde
(1893 – 1960)



Rūdolfs Minkovskis
(1895 – 1976)

$1/H_0 - 2$ miljardi gadu. Tagad uzskata, ka Habls savā vērtējumā ir ievērojami samazinājis attālumu līdz galaktikām, kas bija cēlonis palielinātai H_0 vērtībai. Daži zinātnieki uzskata, ka tā ir ap 50 km/s.Mps, citi domā, ka tās vērtība tuvāka 100 km/s.Mps. Tad Visuma vecums ir 10 – 20 miljardi gadu. Pēdējās desmitgadēs, izmantojot dažādas mērīšanas metodes, iegūtas uzlabotas attāluma vērtības līdz galaktikām un ir cerība iegūt precīzāku konstantes vērtību. Lielas cerības saistītas ar kosmisko Habla teleskopu.

Ap 1960. gadu daļu radiostarotāju identificēja ar zvaigžņveida objektiem, kas bija negaidīti, jo līdz šim brīdim kosmiskos radioobjektos tika atpazītas galaktikas vai miglāji. Tādēļ bija saprotama astronomu lielā interese par šiem objektiem. 1963. gadā holandiešu izcelsmes amerikāņu astronoms Mārtens Šmits (1929 – 1993) ieguva un pētīja šādas 13. lieluma zvaigznes spektru, kas bija identificēts kā radiostarojuma avots 3C 273. Iegūtajā spektrā bija emisijas līnijas, kuras neizdevās identificēt ar laboratorijā iegūtajiem spektriem. Liels bija pārsteigums, kad Šmitam tās izdevās atpazīt kā ūdeņraža Balmera sērijas līnijas, kuru viļņu garumi pārbīdīti tajā laikā vēl nepieredzētā attālumā uz garo viļņu pusi. Pārbīde atbilda 42 000 km/s lielam ātrumam. Tas liecināja, ka objekts atrodas tālu aiz galaktikas robežām. Atbilstoši Habla likumam, šā objekta attālums tika vērtēts ap 600 megaparsekiem ($2 \cdot 10^9$ gaismas gadu). Neskatoties uz milzīgo attālumu, novērotais objekts bija pietiekami spožs. Aprēķini parādīja, ka objekta 3C 273 spožums simtkārt pārsniedza Galaktikas spožumu. Ar tik lieliem spožumiem astronomi vēl nebija sastapušies.

Objekta 3C 273 neparastās īpašības atklāja, pateicoties radio un optisko metožu izmantošanai. Ir daudzi tūkstoši 13. lieluma zvaigžņu, un starp tiem objekts 3C 273 daudzkārt nokļuva optisko instrumentu redzes laukā, taču ilgu laiku nepiesaistīja astronomu uzmanību. Šajā gadījumā radioastronomija izpildīja "gida" funkcijas, dodot iespēju konstatēt objekta neparastās optiskās īpašības un Šmitam veikt vienu no 20. gadsimta lielākajiem atklājumiem. Tā tika atklāti kvazāri. Termins atvasināts no angļu nosaukuma *quasar* (*quasistellar radio source*), kas tulkojumā nozīmē – zvaigžņveida radiostarojuma avots. Vēlāk atklāja arī kvazārus, kuriem bija vājš radiostarojums. Kvazāriem novēro spožuma izmaiņas, kuru periods ir robežās no stundas līdz dien-naktij. Tas nozīmē, ka kvazāra izmēri ir ar kārtu $c \cdot t \sim 4 \cdot 10^{12}$ m, kas tuvināti līdzinās Urāna orbītas diametram. To masa ir ar kārtu 10^{38} kg (10^8 Saules masas). Armēņu astrofizikis Viktors Ambarcumjans (1908 – 1996) izvirzīja hipotēzi, ka kvazāri ir galaktikas attīstības agras stadijas, kad ap tās kodolu vēl nav izveidojusies zvaigžņu sistēma.

Tagad atklāts vairāk par 1000 kvazāru. To spektros novērots spēcīgs UV starojums un platas spožas emisijas līnijas, kas raksturīgas augstas temperatūras ($\sim 30\,000$ K) gāzu miglājiem. Kvazāru spektri ievērojami pārbīdīti garo viļņu daļā. Zinātnieku pārsteigums bija vēl lielāks, kad Laimana sērijas rezonanses līniju L_{α} , kuras viļņa garums ir 121,6 nm, novēroja spektra zilajā daļā, bet pēc tam arī spektra dzeltenajā daļā. Tas nozīmēja, ka spektrālīnijas viļņa garums palielinājies vairāk



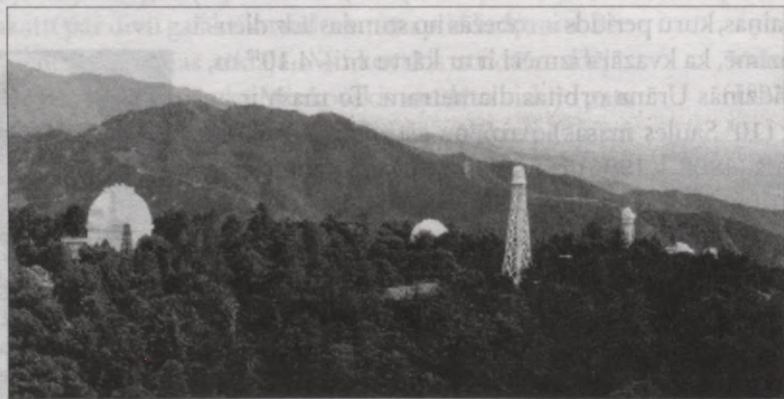
Josifs Šklovskis
(1916 – 1983)

nekā četras reizes. Tā tikusi izstarota pirms 10 – 15 miljardiem gadu. Astrofiziķis Josifs Šklovskis rakstīja: “Kad iedomājies, ka vājo plankumiņu uz fotoplates veidojuši kvanti, kas līdz tam brīdim ceļojuši Visumā 10 – 15 miljardus gadu, zūd vēlēšanās nodarboties ar astronomiju, tāpēc labāk par to nedomāt.”

Izteikts arī cits viedoklis, kurš pieļauj, ka kompaktajos kosmiskajos objektos, kuru izmēri ir 10^{16} – 10^{17} m un masa 10^{42} – 10^{43} kg, ir liela sarkanā pārbīde gravitācijas ietekmē.

Astronomi apspriež arī citu iespēju, kas saistīta ar gravitācijas iedarbību uz gaismu – gravitācijas lēcas efektu. Šis efekts tika paredzēts jau agrāk. Gaisma, izplatoties no kvazāra līdz Zemei, var novirzīties no taisna ceļa kāda masīva ķermeņa gravitācijas lauka iespaidā. Saskaņā ar teoriju objekta attēlu skaits un izvietojums atkarīgs no masīvā ķermeņa formas. Šo ķermeni sauc par gravitācijas lēcu. 1980. gadā amerikāņu astronomu grupa novēroja, ka kvazāra Q1115+080 attēls sastāv no trim tuvu novietotiem komponentiem. Visi attēli ir ar ļoti līdzīgiem spektriem. No attēlu analīzes izriet, ka, ja attēlus veido dažādi objekti, šie objekti atrodas ļoti tuvu viens citam. Varbūtība, ka trīs līdzīgi kvazāri atrodas tik tuvu blakus, ir gaužām maza. Tādēļ zinātnieki pieļauj, ka šajā gadījumā trīskāršā attēla rašanās ir saistīta ar gravitācijas lēcas darbību. Šī hipotēze tiek pārbaudīta.

Interesantu hipotēzi 1975. gadā izvirzīja ASV zinātnieks K. F. Halo. Pēc viņa hipotēzes, tālu gaismas avotu spektri pārbīdās uz garo viļņu pusi daudzkārtējās Ramana izkliedes dēļ ūdeņraža atomos. Izkliedes procesā ūdeņraža atomi pāriet no para stāvokļa orto stāvoklī. Para stāvoklī elektrona un kodola spini ir antiparalēli, bet orto stāvoklī – paralēli. Ramana efekts var izraisīt arī zilo pārbīdi, ja notiek pāreja no orto uz para stāvokli. To, ka novēro tikai sarkano pārbīdi, var izskaidrot ar ūdeņraža atomu pārsvaru para stāvoklī. Par to liecina radioastronomijā plaši pazīstamā ūdeņraža emisijas līnija ar 21 cm viļņa garumu, kas rodas orto–para pārejā. Šai līnijai pārbīde nepastāv mijiedarbības rezonanses rakstura dēļ. UV un redzamajam starojumam, kuru fotonu enerģija ir daži elektronvolti, pārbīde varētu būt manāma.



Vilsona kalna observatorija.

Pa kreisi: 100 collu teleskopa kupols. Centrā: 60 collu reflektora tornis.

Pa labi: Saules novērošanas instrumenti

3. 12. Jaunu optikas nozaru veidošanās 20. gadsimta otrajā pusē

Infrasarkano staru optika. Čerenkova efekts bija nozīmīgākais atklājums, kas bagātināja optikas zinātņi 20. gadsimta 30. gados. Gadsimta vidū korekcijas zinātnes tālākajā virzībā ieviesa Otrais pasaules karš (1939 – 1945). Zināmu attīstību guva ar armijas vajadzību apmierināšanu saistītās jomas. Optisko pētījumu gaitu tas ietekmēja galvenokārt divos virzienos. Pirmkārt, dziļāk tika apgūts spektra infrasarkanais (IS) rajons. IS starus izmantoja aerofotogrāfijā. Kara laikā tika izstrādāta krāsainā spektrozonālā aerofotografēšanas metode. Šajā metodē vienlaikus fotografē vairākās spektra zonās: redzamajā ($0,4 - 0,75 \mu\text{m}$) un tuvajā IS ($0,75 - 1,2 \mu\text{m}$) rajonā, izmantojot fotomateriālus, un vidējā IS rajonā ($1,2 - 25 \mu\text{m}$), lietojot fotoelektrisko un termoelektrisko reģistrēšanu. Tā kā dažādiem objektiem ir atšķirīgi spektrālās atstarošanas koeficienti, tad ar šīs metodes palīdzību varēja pēc aerofotouzņēmumiem atšifrēt maskētus objektus. IS starus plaši izmantoja arī signalizācijai, mērķu atklāšanai pēc to siltumstarojuma (siltuma pelengatori), novērošanai naktī (IS binokļi), tēmēšanas iekārtās u. c.

IS attēlu vizualizēšanai lieto elektronoptiskos pārveidotājus (EOP). Tās ir vakuuma fotoelektriskas ierīces, ko izmanto, lai neredzamu attēlu pārvērstu redzamā, kā arī vāja attēla pastiprināšanai. EOP lēca veido optisko attēlu uz fotokatoda. Fotoefektā atbrīvotos elektronus elektriskais lauks paātrina luminiscējošā ekrāna virzienā. Tur veidojas elektronisks attēls, kuru ekrāns pārveido redzamā attēlā. Modernos EOP var iegūt 10^6 reižu lielu pastiprinājumu.

IS tehnikas attīstība aktivizēja arī IS staru astronomiju. Pirmos Mēness un planētu siltumstaru mērījumus veica $8 - 13 \mu\text{m}$ rajonā 20. gadsimta 20. gados. Vēlākos IS spektru mērījumos atklāja CO_2 , CO , H_2O u. c. gāzu klātbūtni Veneras un Marsa atmosfērā. Ūdens tvaiku un ogļskābās gāzes klātbūtne Zemes atmosfērā izpaužas galvenokārt IS staru absorbcijā. Šā iemesla dēļ astronomiskiem novērojumiem var izmantot tikai atsevišķus spektra rajonus.

Rajona apzīm.	$\lambda, \mu\text{m}$	$\Delta\lambda, \mu\text{m}$	Rajona apzīm.	$\lambda, \mu\text{m}$	$\Delta\lambda, \mu\text{m}$
I	0,9	0,1	L	335	0,9
J	1,25	0,3	M	5,0	1,0
K	1,6	0,35	N	10,2	5,0
H	2,2	0,50	Q	20,0	10,0

Atkarībā no aparatūras darbības spektrālā rajona izšķir JKHLM fotometrus un NQ fotometrus. Pirmie komplektā ar $1,25 \text{ m}$ teleskopu var reģistrēt zvaigznes, kuru spožums nav mazāks par 13. lielumu, NQ tipa fotometri var reģistrēt otrā lieluma zvaigznes. Šo fotometru jutību iespējams palielināt, samazinot aparatūras fonu.

Ūdens tvaiku koncentrācija samazinās atmosfēras augšējos slāņos, un 12 km augstumā tā ir 1000 reižu mazāka nekā jūras līmenī. Tādēļ labākus rezultātus dod IS aparatūras izvietošana lidmašīnās un raķetēs. Tagad šim nolūkam izmanto ZMP. Tad ir atvieglota arī optikas dzesēšana un aparatūras fona samazināšana, ko izraisa siltumstarojums. Pirmo kosmisko IS teleskopu 1983. gadā ievietoja pavadoņi IRAS

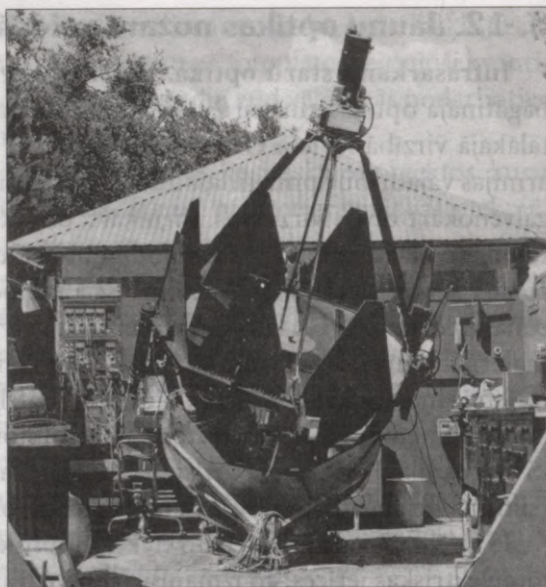
(*Infrared Astronomical Sattelite*), ko palaida Nīderlande, ASV un Lielbritānija. Teleskops darbojās vienu gadu. Tā darbības laiku ierobežoja šķidrā hēlija krājumi. No pavadoņa IRAS pirmoreiz tika veikta visa debessjuma zondēšana 10 – 100 μm plašā spektra rajonā un reģistrēti ap 250 000 IS starojuma avotu.

Nesen Zemes uzņēmumos, kas izdarīti IS staros no ZMP, novēroja termiskas anomālijas. Šīs anomālijas parasti konstatēja līdz 100 000 km^2 lielās platībās. Tās pastāvēja vairākas dienas un pēc tam izzuda. Pēc dažām dienām anomāliju rajonus piemeklēja zemestrīce. Pirmoreiz uzmanību šim jautājumam pievērsa Vidusāzijā. 1984. gadā 19. martā Gazlī notika zemestrīce. Pēc tam noskaidrojās, ka jau 11. martā no kosmosa visā rajona teritorijā novērots IS staru uzliesmojums. Tas zinātniekus darīja uzmanīgus, un turpmāk līdzīgu sakarību novēroja arī citās vietās.

Domājams, ka seismisko procesu attīstības gaitā no Zemes garozas atmosfērā izdalās ūdeņradis, ogļskābā gāze, metāns u. c. gāzes. Šo gāzu paaugstināta koncentrācija aktīvā rajonā izraisa lokālu siltumnīcas efektu: atmosfēras temperatūra pieaug par dažiem grādiem. Tas ir pietiekami, lai pastiprinātos IS starojums, kas nonāk kosmiskajā telpā un ir novērojams no ZMP.

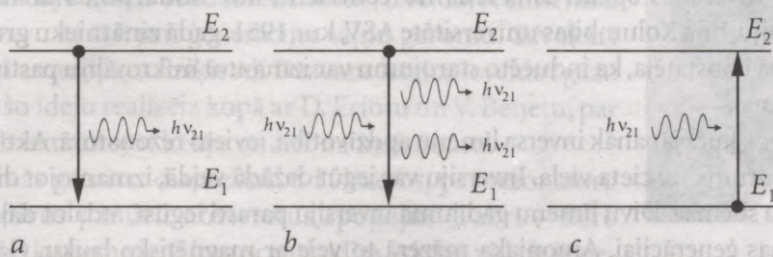
Lāzeru fizika. Otrs virziens, kurš būtiski iespaidoja optikas tālāko likteni, bija mikroviļņu tehnikas apgūšana, kurai ar optiku šķietami maz sakara. Lai šī sakarība tomēr kļūtu redzama, izdarīsim nelielu atkāpi kvantu ģeneratoru jeb māzeru un lāzeru tapšanas priekšvēsturē. Jēdziens “māzers” veidots no angļu valodas nosaukuma pirmajiem burtiem: *Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation*. Jēdziens “lāzers” iegūts līdzīgā veidā, nomainot angļu nosaukumā vārdu “*microwave*” ar atbilstošo vārdu “*lightwave*”. Jāatzīmē, ka lāzers ir viens no veiksmīgākajiem izgudrojumiem zinātnes vēsturē.

Starp mijiedarbībām, ko novēro atomiem ar starojumu, divas ir labi pazīstamas. Pirmā no tām ir novērojama, ja atoms atrodas savā pamatstāvoklī un absorbē starojumu, kura frekvence ir pietiekami liela, lai atoms pārietu kādā no ierosinātajiem stāvokļiem. Otrā gadījumā atoms jau atrodas ierosinātā stāvoklī un tad spontāni pāriet zemākā enerģijas līmenī, izstarojot gaismas kvantu. Lai izskaidrotu atomu līdzsvarotu sadalījumu



Vilsona kalna observatorijas IS teleskops. Teleskopa 62 collu spogulis veidots no epoksīdu sveķiem uz atbilstoša apveida rotējoša alumīnija diska. Sveķu sacietēšanai bija nepieciešams trīs dienas nodrošināt nemainīgu rotācijas ātrumu. Spoguļa virsma pārklāta ar alumīnija slāni. Spoguļa fokusa attālums $F = 64$ collas. IS starojuma uztvērējus dzesē ar šķidro slāpekli

enerģijas stāvokļos, Einšteins 1916. gadā apzināja trešo mijiedarbības veidu – inducētās pārejas, kuras var izraisīt spontānais starojums. Inducētajam vilnim ir tāds pats viļņa garums, izplatīšanās virziens, polarizācija un fāze kā vilnim, kas to izraisījis. Tas ir identisks primārajam vilnim.



a – spontānā pāreja, *b* – inducētā pāreja, *c* – absorbcijas pāreja

Turpmāko 35 gadu laikā inducētais starojums ieņēma svarīgu vietu starojuma teorijā, taču praktisku lietojumu neguva. Inducētais starojums ir maznozīmīgs termiskajos un gāzizlādes gaismas avotos, kur tam pāri klājas intensīvs spontānais starojums. Turpretī lāzeru un māzeru darbības pamatā ir inducētais starojums. Tādēļ nepieciešams radīt tādus apstākļus, lai šo starojumu izdalītu un pastiprinātu.

Gaismas plūsmas samazināšanos absorbējošā vidē apraksta Bugēra – Lamberta likums: $I = I_0 e^{-kl}$. Gaismas plūsmas izmaiņas raksturošanai izmantosim absorbcijas rādītāju, kuru var izteikt ar Einšteina koeficientiem:

$$k = h\nu_{21} (N_1 B_{12} - N_2 B_{21}) / c,$$

kur I_0 – krītošās gaismas plūsma, I – caurizgājušās gaismas plūsma, l – slāņa biezums, B_{12} – Einšteina koeficients absorbcijai, B_{21} – Einšteina koeficients inducētai pārejai, N_1 un N_2 – daļiņu koncentrācija pamatstāvoklī un ierosinātā līmenī. Termodinamiska līdzsvara apstākļos realizējas Bolcmaņa likums:

$$N_2 = N_1 \frac{g_2}{g_1} e^{-\frac{E_2}{kT}}.$$

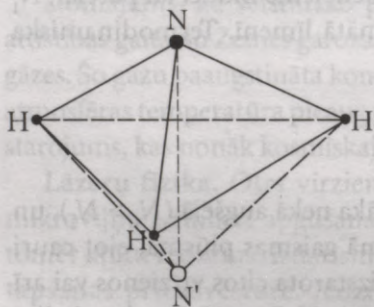
Zemākā enerģijas līmeņa apdzīvotība vienmēr ir lielāka nekā augšējā ($N_1 > N_2$), un absorbcijas rādītājs k vienmēr ir pozitīvs. Šādā gadījumā gaismas plūsma, ejot cauri videi, pavājinās. Absorbētā enerģijas daļa tiek atkārtoti izstarota citos virzienos vai arī pāriet citos enerģijas veidos, piemēram, siltumā. Gadījumā, ja $N_1 B_{12} < N_2 B_{21}$, absorbcijas rādītājs kļūst negatīvs. Šādu vidi sauc par aktīvu jeb inversi apdzīvotu. Inverss stāvoklis nevar iestāties termodinamiska līdzsvara apstākļos, tas nav stabils. Inversu apdzīvota vide, atkarībā no relaksācijas laika, agrāk vai vēlāk atgriežas sākotnējā līdzsvarotā stāvoklī.

Pirmoreiz par iespēju iegūt inducēto starojumu eksperimentāli un izmantot to nelīdzsvarotā sistēmā gaismas signālu pastiprināšanai 1939. gadā norādīja Valentīns Fabrikants (dz. 1907. g.). Tad līdzās inducētā starojuma un nelīdzsvarotās sistēmas izmantošanai ir jārealizē vēl arī trešā ideja. Tā aizgūta no radiofizikas un paredz pozitīvu atgriezenisku saiti, lai sistēmu, kas pastiprina starojumu, pārvērstu koherenta starojuma ģeneratorā. Taču šo ideju realizācija aizkavējās. Situācija mainījās pēc Otrā pasaules

kara. Kara periodā stipri attīstījās mikroviļņu tehnika. Šajā procesā piedalījās daudz fiziķu. Tas pēckara periodā veicināja pētījumus mikroviļņu un vielas mijiedarbības jomā. Veidojās mikroviļņu spektroskopija. Mikroviļņu spektroskopija pēta vielas spektrus mm un cm viļņu garuma diapazonā. Šajā rajonā novēro gāzu molekulu rotācijas un rotācijas – inversijas spektrus. Viens no centriem, kur nodarbojās ar mikroviļņu spektroskopiju, bija Kolumbijas universitāte ASV, kur 1951. gadā zinātnieku grupa Čārlza Tauna vadībā konstatēja, ka inducēto starojumu var izmantot mikroviļņu pastiprināšanai un ģenerēšanai.

Aktīvo vidi, kurā jāpanāk inversa līmeņu apdzīvotība, ievieto rezonatorā. Aktīvā vide var būt gāze, šķidrums vai cieta viela. Inversiju var iegūt dažādā veidā, izmantojot divu, trīs un četru līmeņu shēmas. Divu līmeņu gadījumā inversiju parasti iegūst, atdalot daļiņas, kuras nepieciešamas ģenerācijai. Amonjaka māzerā to veic ar magnētisko lauku. Gāzu lāzeros izmanto elektrisko izlādi, cietvielu lāzerus “uzpumpē” ar speciālām impulsa lampām.

1954. gadā tika izveidota pirmā iekārta, kur izmantoja amonjaka NH_3 molekulas divos enerģijas līmeņos. Amonjaka molekulas slāpekļa atoms var svārstīties $2,387 \cdot 10^{10}$ reizes sekundē, ejot cauri plaknei, kurā izvietoti ūdeņraža atomi (inversija). Tam atbilst mikroviļņu starojums, kura viļņa garums ir 1,24 cm, bet molekulai ND_3 starojums ir 15 – 18 cm rajonā. Abas šīs molekulas izmantoja pirmajos kvantu ģeneratoros jeb māzeros. Ierosinātā stāvoklī negatīvie lādiņi ir simetriski pozitīvo lādiņu plaknei, un molekulai nav elektriskā momenta. Pēc inversijas, nonākot pamatstāvoklī, molekulai ir noteikts elektriskais moments. Šo īpašību izmanto, lai ierosinātās molekulas atdalītu no neierosinātām molekulām un lai tās savāktu rezonatorā. Pietiekami lielā molekulu plūsmā sistēma kļūst pašierosinoša un darbojas kā ģenerators.



Amonjaka (NH_3) molekulas inversijas svārstību frekvence atkarīga no molekulas rotācijas momenta ap asi. Kvantu ģeneratoros izmanto 23870,14 MHz frekvenci



Čārlzs Tauns
(dz. 1915. g.)



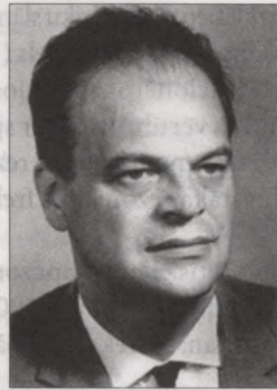
Arturs Šavlovs
(dz. 1921. g.)

Līdzīgus darbus neatkarīgi no Tauna PSRS veica Nikolajs Basovs un Aleksandrs Prohorovs. Par šiem pētījumiem zinātniekiem 1964. gadā piešķīra Nobela prēmiju.

1954. gadā Basovs un Prohorovs ieteica inversijas iegūšanai izmantot trīs enerģijas līmeņus. 1958. gadā Čārlzs Tauns un Arturs Šavlovs aplūkoja šīs metodes izmantošanas iespējas optiskajā diapazonā. Pirmos praktiskos rezultātus 1960. gadā guva amerikāņu fiziķis Teodors Meimans, izveidojot sintētiskā rubīna lāzeru ar $0,7 \mu\text{m}$ ģenerācijas viļņu garumu. Savukārt 1960. gadā amerikāņu fiziķis Ali Džavans ieteica izveidot gāzu lāzeru un šo ideju realizēja kopā ar D. Eriotu un V. Benetu, par aktīvo vidi izmantojot hēlija un neona maisījumu.

Redzamās gaismas diapazonā, t. i., lāzeros, par rezonatoru izmanto divus paralēli novietotus spoguļus (Fabri – Pero etalonu), no kuriem viens ir puscaurlaidīgs. Aktīvā vide ir ievietota starp šiem spoguļiem. Ja aktīvajā vidē ir iegūta augsta inversā apdzīvotība, tad spontānās pārejas fotoni izraisa kvantu lavīnas. Daļa no tām iziet cauri sānu virsmai un tālākā procesā nepiedalās. Daļa lavīnu nokļūst uz spoguļiem un atstarojas. Arī pēc vairākkārtējas atstarošanās lavīnas var atstāt rezonatoru caur sānu virsmu, ja to izplatīšanās virziens nesakrīt ar z ass virzienu, kur z ass ir perpendikulāra spoguļu virsmām.

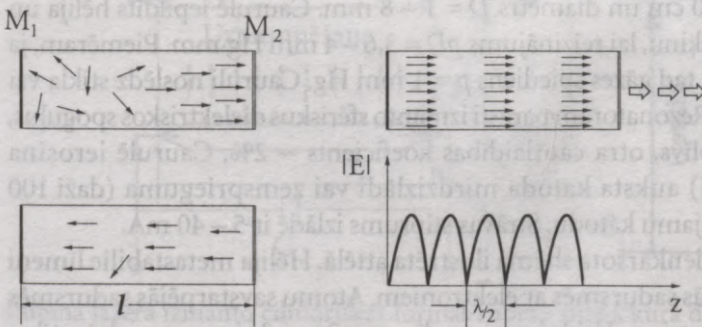
Ja gaismas vilnis izplatās precīzi z ass virzienā, tad inducētā starojuma dēļ viļņa amplitūda palielinās. Sasniedzot spoguļi M_2 , vilnis atstarojas. Atstarošanās notiks daudzkārt gan spoguļi M_1 , gan arī spoguļi M_2 . Tādējādi ievērojami palielinās starojuma ceļš un svārstību amplitūda. Tā kā viens spoguļis ir daļēji caurlaidīgs, tad caur šo spoguļi izejošais starojums veido lāzerstaru. Ja zudumi atstarošanās, izkliedes, absorbcijas un difrakcijas dēļ ir mazāki nekā amplitūdas pieaugums, izejot caur aktīvo vidi, tad viļņa amplitūda turpina augt tikmēr, kamēr tiek uzturēta inversija vai iestājas līdzsvars. Spēcīga lāzerstara iegūšanai jāizmanto spoguļi, kas labi atstaro, bet maz absorbē. Parasti izmanto daudzslāņu dielektriskos interferences spoguļus. Šādi spoguļi sastāv no pamīšus



Nikolajs Basovs
(dz. 1922. g.)



Aleksandrs Prohorovs
(dz. 1916. g.)



Gaismas vilnis izplatās z ass virzienā. Inducētā starojuma dēļ šā viļņa amplitūda palielinās. Sasniedzot spoguļi M_2 , notiek atstarošanās. Šāda atstarošanās notiks daudzkārt gan spoguļi M_1 , gan arī spoguļi M_2 . Kvazimonohromatiskā starojuma gadījumā starp rezonatora spoguļiem veidojas stāvviļņi, kuru periods ir $\lambda/2$

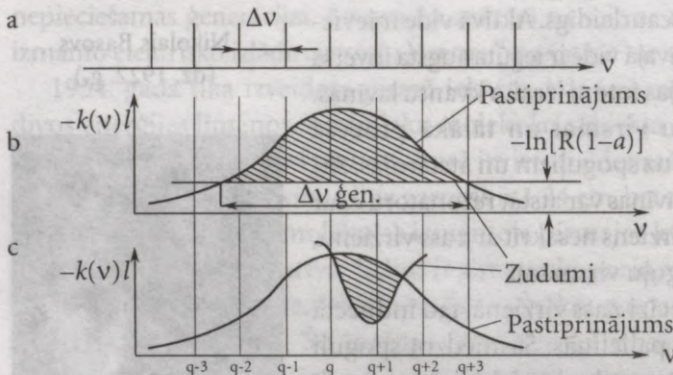
uzklātiem dielektriķu slāņiņiem ar lielu (ZnS) un mazu (MgF_2) laušanas koeficientu. Ja slāņiņu skaits ir pietiekami liels (11 – 19), tad atstarošanas koeficients var sasniegt 98 – 99%.

Stacionāros apstākļos starp rezonatora spoguļiem veidojas stāvviļņi. Elektriskā lauka nulles vērtība sakrīt ar spoguļvirsmām. Tad rezonatorā ievietoja q pusviļņi. Jo lielāka q vērtība, nemainoties rezonatora izmēriem l , jo mazāks rezonanses viļņa garums λ un augstāka rezonanses frekvence ν , t. i.:

$$\lambda = 2l/q, \nu = qc/2l.$$

Optiskajam diapazonam q var sasniegt lielas vērtības. Ja rezonatora garums $l = 1$ m, tad viļņu garumam 500 nm rezonanse iestāsies vērtībai $q = 4 \cdot 10^6$. Pārējo rezonatora rezonanses frekvenču pārbīdi var viegli aprēķināt pēc formulas:

$$\Delta\nu = \Delta qc/2l.$$



Attēlā: a – atainots rezonatora garensvārstību frekvenču spektrs jeb pasīvā rezonatora svārstību tipi, b – lāzestarojuma ģenerācija notiks tām frekvencēm ν_q , kuras atrodas spontānā starojuma Doplera kontūras robežās, c – selektīvi zudumi nodrošina vienas frekvences ģenerēšanu

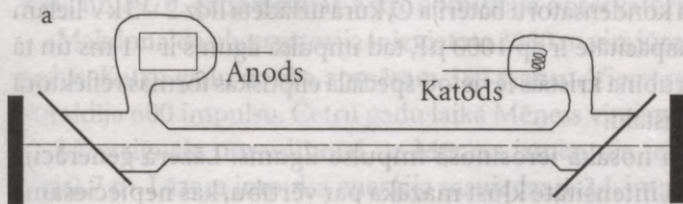
Hēlija – neona lāzera ģenerācijas viļņa garums $l = 630$ nm. Ja rezonatora izmēri $l = 1$ m un starojuma zudumi ir 2%, iegūst $\delta\lambda = 1,26 \cdot 10^{-6}$ nm jeb $\delta\nu = 10^6$ Hz. Spektrālīnijas dabiskās dzišanas platums ir $1,2 \cdot 10^{-5}$ nm. Tātad rezonators spēj izdalīt spektrālo joslu, kas ir daudz šaurāka par tradicionālo gaismas avotu spektrālīniju platumu.

Izmantojot tikai pamatlīmeni un vienu ierosināto enerģijas līmeni, inverso apdzīvotību “uzpumpēšanas” ceļā nevar iegūt. Absorbējot gaismas kvantus, atomi no pamatlīmeņa ar enerģiju E_1 pāriet ierosinātā līmenī ar enerģiju E_2 . Sasniedzot abu līmeņu vienādu apdzīvotību, izstarojošo pāreju skaits kļūst vienāds ar ierosinošo pāreju skaitu. Ierosinātā līmeņa apdzīvotība vairs nepalielinās. Inverso apdzīvotību var iegūt, izmantojot 3 vai 4 enerģijas līmeņus. Šīs situācijas realizējas rubīna un hēlija – neona lāzeros.

Raksturīgākais gāzu lāzers ir hēlija – neona lāzers. Tas sastāv no gāzislādes caurules, kuras garums var būt no 15 līdz 200 cm un diametrs $D = 1 - 8$ mm. Caurulē iepildīts hēlija un neona maisījums ar tādu aprēķinu, lai reizina $pD = 3,6 - 4$ mm Hg·mm. Piemēram, ja caurules diametrs $D = 4$ mm, tad gāzes spiediens $p = 1$ mm Hg. Cauruli noslēdz stikla vai kvarca lodziņi Brūstera leņķī. Rezonatoram parasti izmanto sfēriskus dielektriskos spoguļus, no kuriem viens ir optiski blīvs, otra caurlaidības koeficients $\sim 2\%$. Caurulē ierosina augstsprieguma (1 – 2,5 kV) auksta katoda mirdzislādi vai zemsprieguma (daži 100 V) lokzslādi, izmantojot karsējamu katodu. Strāvas stiprums izlādē ir 5 – 40 mA.

Hēlija un neona līmeņu vienkāršota shēma ilustrēta attēlā. Hēlija metastabilie līmeņi 2^3S un 2^1S izlādē stipri uzpildās sadursmēs ar elektroniem. Atomu savstarpējās sadursmēs enerģija tiek atdota neona atomiem. Veidojas neona līmeņu $2s$ un $3s$ inversa apdzīvotība.

Ģenerāciju novēro intensīvākajām pārejām $2s \Rightarrow 2p$ ($1,15 \mu\text{m}$), $3s \Rightarrow 2p$ ($632,8 \text{ nm}$) un $3s \Rightarrow 3p$ ($3,39 \mu\text{m}$). Neona līmeņi $2p$ iztukšojas, pārejot stāvoklī $1s$, izstarojot oranžās un sarkanās spektrālās līnijas.

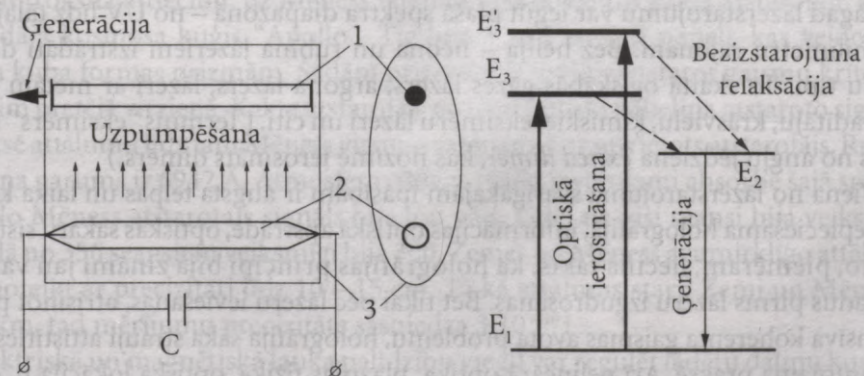


Hēlija – neona lāzera (a) un enerģijas līmeņu (b) shēma

Optimāla hēlija un neona spiedienu attiecība ir 5:1 līnijas 633 nm un 9:1 līnijas $1,15 \mu\text{m}$ ģenerācijai. 633 nm un $3,39 \mu\text{m}$ līnijas ir savstarpēji konkurējošas. Lai nepieļautu infrasarkanās līnijas ģenerāciju, rezonatorā ievieto kivetu ar metānu vai propānu, kuriem ir absorbcijas joslas $3,39 \mu\text{m}$ rajonā.

Atomu temperatūra izlādē sasniedz 400 K . 633 nm līnijas spontānā starojuma paplašinājums Doplera efekta dēļ ir $\Delta\lambda_D = 0,002 \text{ nm}$ jeb $\Delta\nu_D = 1500 \text{ MHz}$. Sadursmju paplašinājums ir samērā mazs: $\Delta\nu_{\text{sad}} = 100 \text{ MHz}$. Iegūta ģenerācijas līnija, kuras platums ir 10^{-6} nm jeb 1 MHz un mazāks. Ģenerācijas jauda spektra redzamajā daļā var būt robežās no dažiem mW līdz 80 mW .

Rubīna lāzērā izmanto cilindriskas formas rubīna stieni (1), kura galu virsmas ir perpendikulāras cilindra asij. Tās rūpīgi pulē un pārklāj ar spoguļslāņiem, kas kalpo par rezonatoru. Rubīns ir alumīnija oksīda (korunda) Al_2O_3 kristāls, kurš satur $0,05\%$ hroma. Hroma joni absorbē gaismu spektra zaļajā un violetajā daļā un ierosinās līmeņos E_3 un E_3' ,



Rubīna lāzērā izmanto cilindriskas formas rubīna stieni, kura diametrs ir daži milimetri, bet garums – daži centimetri

pēc tam bez izstarošanas, atdodot enerģiju kristāla režģim, nonāk metastabilā stāvoklī E_2 . Šis process norit strauji, apmēram 10^{-8} s. Pateicoties metastabilā stāvokļa lielajam dzīveslaikam, kas ir $3 \cdot 10^{-3}$ s, tajā var uzkrāties vairāk hroma jonu, nekā to ir līmenī E_1 . Izpildoties ģenerēšanas noteikumam, sākas rubīna sarkanās līnijas $\lambda = 6942 \text{ \AA}$ ģenerācija. Lai to panāktu, ierosināšanai jāizmanto pietiekami intensīvs gaismas avots. Var izmantot ksenona lampu (2) impulsa darbības režīmā. Lampu darbina kondensatoru baterija C, kura uzlādēta līdz 2–3 kV lielam spriegumam. Ja kondensatoru kapacitāte ir ap 1000 \mu F , tad impulsa ilgums ir ~ 1 ms un tā jauda sasniedz 2 kW. Lampa un rubīna kristāls ievietoti speciālā eliptiskas formas reflektorā (3), kurš koncentrē gaismu uz kristālu.

Ģenerācijas impulsu ilgumu nosaka ierosinošā impulsa ilgums. Lāzera ģenerācija izbeidzas, kad ierosinošā signāla intensitāte kļūst mazāka par vērtību, kas nepieciešama ģenerācijas uzturēšanai. Ģenerācijas līnijas platums parasti ir robežās no 0,001 nm līdz 0,02 nm. Nefokusēta lāzerstara elektriskā lauka intensitāte sasniedz ap 10^4 V/cm . Salīdzinājumam var minēt, ka Saules starojuma intensitāte uz Zemes virsmas maksimāla apgaismojuma apstākļos ir tikai 10 V/cm . Samazinot lāzerstarojuma impulsa ilgumu, tā jaudu var palielināt līdz $10^7 - 10^8 \text{ W}$. Tad elektriskā lauka intensitāte var sasniegt 10^7 V/cm , kas ir pietiekami, lai varētu sākt novērot nelineārās optiskās parādības.

Līdz 1982. gadam bez rubīna lāzerefektu atklāja vairāk nekā 250 dielektriskiem kristāliem. Populārākie no tiem ir neodīma jonus saturoši kristāli: itrija alumīnija granāts ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Nd}^{3+}$), niķeļa niobāts ($\text{NiNbO}_3:\text{Nd}^{3+}$) un fluoru saturoši kristāli $\text{LiYF}_4:\text{Nd}^{3+}$, $\text{LiHoF}_4:\text{Nd}^{3+}$. Lai uzlabotu šo kristālu parametrus, tajos līdzās joniem ievada arī sensibilizatorus. Sensibilizatoru uzdevums ir absorbēt gaismas enerģiju un to nodot piemaisījuma joniem. Tā var iegūt lielas jaudas lāzerstarojumu.

Vairākums cietvielu lāzeru darbojas impulsa režīmā. Samazinot impulsa ilgumu, var palielināt to jaudu. Tad rezonatoros ievieto speciālus optiskus slēdžus, kas rezonatoru atver īsu brīdi, kad uzkrāta pietiekami liela enerģija. Tādam nolūkam kalpo modulētā labuma metode. Optisko uzpumpēšanu, uzkrājot aktīvajā vidē enerģiju, izdara, kad slēdzis ir aizvērts. Tad slēdzi ātri atver, un tiek ģenerēts lāzerstarojuma impulss. Optiskie slēdži ļauj iegūt 10^{-7} līdz 10^{-8} s īsus laika intervālus. Pikosekunžu impulsus iegūst, izmantojot pašinducētās caurlaidības filtrus. Sasniegtā impulsa jauda ir 10^{13} līdz 10^{14} W .

Tagad lāzerstarojumu var iegūt plašā spektra diapazonā – no UV līdz tālajam IS un submilimetru rajonam. Bez hēlija – neona un rubīna lāzeriem izstrādāti daudzi citi lāzeru tipi. To skaitā ogļskābās gāzes lāzers, argona lāzers, lāzeri ar metālu tvaikiem, pusvadītāju, krāsvielu, ķīmiskie, eksimēru lāzeri un citi. (Termins “eksimērs” ir saīsinājums no angļu jēdziena *excited dimer*, kas nozīmē ierosināts dimērs.)

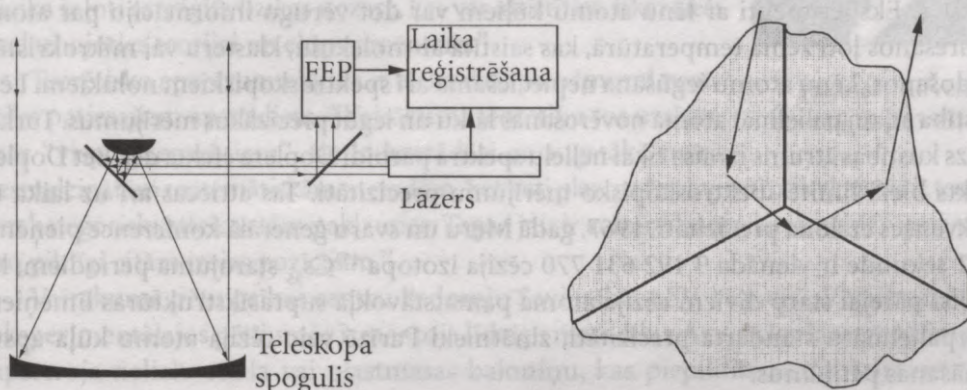
Viena no lāzerstarojuma svarīgākajām īpašībām ir augsta telpas un laika koherence. Tā nepieciešama hologrāfijā, informācijas optiskā apstrādē, optiskās sakaru sistēmās u. c. Par to, piemēram, liecina fakts, ka hologrāfijas principi bija zināmi jau vairāk nekā 10 gadus pirms lāzeru izgudrošanas. Bet tikai pēc lāzeru ieviešanas, atrisinot pietiekami intensīva koherenta gaismas avota problēmu, hologrāfija sāka strauji attīstīties un kļuva izmantojama praksē. Arī nelineārā optika, plazmas fizika, optiskā lokācija u. c. nozares uzplauka 60. gados pēc lāzeru ieviešanas. Pateicoties lāzerfizikas un tehnikas straujajai

attīstībai, izmaiņas aptvērušas praktiski visus svarīgākos eksperimentālās fizikas virzienus, daudzas tehnikas jomas, ķīmiju, bioloģiju un medicīnu.

Viens no interesantākajiem lāzeru izmantošanas piemēriem ir Mēness lokācija. Šādi mērījumi ir svarīgi arī selenogrāfijā un ģeofizikā. Tie ļauj pētīt kontinentu pārvietošanos. Lokācijas pētījumi uzsākti 1969. gadā Makdonalda astronomiskajā observatorijā Teksasā, ASV, un 1970. gadā Krimas Astronomiskajā observatorijā, PSRS.

Makdonalda observatorija ir izvietota 2080 m virs jūras līmeņa. Pētījumus veica četrus gadus. Katru gadu notika apmēram 350 seansu. Viena seansa laikā, kas ilga 45 minūtes, noraidīja 600 impulsu. Četru gadu laikā Mēness virzienā nosūtīja 400 000 lāzerimpulsu.

Lāzersignāla noraidīšanai uz Mēness izmantoja teleskopu, kura spoguļa diametrs bija 2,7 m. Lāzera impulsa enerģija sasniedza 1,2 J, impulsa ilgums 3 ns. Gaismas lauka izmēri uz Mēness virsmas veidoja 5,5 km liela diametra apli. Tik liels laukums satur atšķirīga augstuma detaļas, tādēļ uz Zemes atstarotie signāli atgriezās dažādos laika momentos. Augstuma starpība 1 m rada signāla nobīdi laikā par 6,6 ns, ko viegli reģistrēt.



Mēness lokatora un kakta atstarotāja shēma

Tikai neliela noraidītā signāla daļa atstarojās no Mēness virsmas Zemes virzienā. Galvenā lāzera starojuma daļa izkliedējās un absorbējās Zemes atmosfērā. Lai uzlabotu signāla un trokšņa attiecību, uz Mēness virsmas bija novietoti kakta atstarotāji, kurus tur nogādāja kosmosa kuģis "Apollo". Tie bija 1 m·1 m lieli paneļi, kas veidoti no daudzām kuba formas prizmām. Šādām prizmām ir īpašība atstarot gaismu krītošam staru kūlim pretējā virzienā. Kakta atstarotājs ne tikai būtiski palielina atstaroto signālu, bet arī fiksē attālumu līdz tam Mēness virsmas rajonam, kur novietots atstarotājs. Rubīna lāzera viļņa garums ir 6942 Å. Atmosfēras ūdens tvaiki ievērojami absorbē šajā spektra rajonā. No Mēness atstarotais signāls bija ļoti vājš, tādēļ ne visi seansi bija veiksmīgi. 1971. gadā no 356 seansiem veiksmīgi bija 300. Zemes un Mēness acumirkliġo attālumu izdevās noteikt ar precizitāti līdz 10 – 15 cm. Tā kā attālums starp Zemi un Mēnesi ir 380 000 km, tad mērījumu precizitāte sasniedza $3 \cdot 10^{-10}$!

Ar elektriskā un magnētiskā lauka palīdzību viegli var regulēt lādētu daļiņu kustību. Atomu kustības ietekmēšana ir grūtāka. 1983. gadā ASV Nacionālā standartu biroja zinātnieki realizēja eksperimentu atomu kustības apstādīšanai. Zinātnieki izmantoja

nātrija atomu kūlī, kurā atomu kustības ātrums bija 1000 m/s. Kūlim pretī virzīja lāzerstaru. Lāzerstarojuma viļņa garums bija 586 nm. Fotona enerģija precīzi sakrita ar nātrija pirmā ierosinātā un pamatstāvokļa enerģiju starpību. Absorbējot fotonu, nātrija atoms pāriet ierosinātā stāvoklī un pēc 16 ns ilga laika, spontāni izstarojot luminiscences fotonu, atgriežas pamatstāvoklī. Luminiscences fotons tiek izstarots patvaļīgā virzienā. Pēc tam atoms var absorbēt otru fotonu, kuru arī izstaro patvaļīgā virzienā, utt. Saskaņā ar impulsu saglabāšanās likumu, katrs absorbcijas process saistīts ar atoma kustības ātruma samazināšanos par lielumu, kas atkarīgs no absorbētās gaismas viļņa garuma un atoma masas. Nātrija atoma gadījumā tas ir 3 cm/s. Aplēse parāda, ka nepieciešams apmēram 33 000 sadursmju, lai apstādinātu nātrija atomu, kura kustības sākuma ātrums ir 1000 m/s. Tā var iegūt atomus, kuru kustības ātrums nepārsniedz dažus desmitus centimetru sekundē. Tāds ātrums ir atomiem 0,001 K temperatūrā. Spontānā izstarošana notiek izotropi visos virzienos, tādēļ tā neiespaido galarezultātu.

Izmantojot pietiekami lielas jaudas lāzeru, atomu kustības apstādināšanu var veikt 0,001 s. Eksperimenti ar lēnu atomu kūļiem var dot vērtīgu informāciju par atomu izturēšanos ļoti zemā temperatūrā, kas saistīta ar molekulu, klasteru vai mikrokristālu veidošanos. Lēnu atomu iegūšana nepieciešama arī spektroskopiskiem nolūkiem. Lēna kustība atļauj palielināt atoma novērošanas laiku un iegūt precīzākus mērījumus. Turklāt mazs kustības ātrums izraisa tikai nelielu spektra pārbīdi Doplera efekta dēļ. Bet Doplera efekts bieži limitē spektroskopisko mērījumu precizitāti. Tas attiecas arī uz laika un frekvences etalona precizitāti. 1967. gadā Mēru un svaru ģenerālā konference pieņēma, ka 1 sekunde ir vienāda 9 192 631 770 cēzija izotopa $^{133}\text{Cs}_{55}$ starojuma periodiem, kas atbilst pārejai starp diviem cēzija atoma pamatstāvokļa suprasīkstruktūras līmeņiem. Lai palielinātu standarta precizitāti, zinātnieki Parīzē veic cēzija atomu kūļa apstādināšanas pētījumus.

Ar lāzeru izveidi svarīgas kvalitatīvas pārmaiņas notikušas arī pašā optikā. Ir pastiprinājusies interese par tās jau agrāk izstrādātiem novirzieniem. Aktivizējušies interferences, difrakcijas, polarizācijas un izkliedes pētījumi. Džavans kopā ar Taunu atkārtoja Maikelsona – Morli eksperimentu, kur par gaismas avotu kalpoja hēlija – neona lāzers. Izmantojot lāzerus, jaunas atziņas gūtas elektrooptisko un magnētooptisko efektu pētījumos. Strauji attīstās jauni virzieni, piemēram, nelineārā optika, adaptīvā optika, hologrāfija un lāzeru kodoltermiskā sintēze.

Lāzeru kodoltermiskā sintēze. 1975. gada maijā VIII starptautiskajā konferencē Polijā apsprieda lāzeru kodoltermiskās sintēzes eksperimentālās un teorētiskās problēmas. 60. gados kodolsintēzes jautājumos valdīja zināms optimisms, taču 70. gados tas jau bija manāmi mazinājies. Grūtības, kuras nācās pārvarēt eksperimentētājiem, izrādījās lielākas par prognozētajām.

Zviedru astofiziķis, 1970. gada Nobela prēmijas laureāts Hanness Alfvēns, aplūkojot plazmas fizikas divus attīstības virzienus, stāvokli raksturoja šādi: “Pirmais virziens – jau simt gadus ilgstošie tā sauktie elektriskās izlādes pētījumi gāzēs. Šī pieeja bija augstākā mērā fenomenoloģiska un tikai ļoti lēnām sasniedza zināmas teorētiskas vispārināšanas pakāpi. Vairākums fiziķu teorētiķu skatījās uz šo pieeju aizdomīgi, jo tā bija sarežģīta

un neērta. Plazmā veidojas strati un dubultslāņi, elektronu sadalījums nepakļaujas Maksvela likumam, tajā rodas visādu veidu oscilācijas un nestabilitātes. Īsi sakot, šī pieeja ir pilnīgi nepiemērota matemātiski elegantu teoriju veidošanai.

Otra pieeja radās uz labi izstrādātās parasto gāzu kinētiskās teorijas bāzes. Tika pieņemts, ka šo jomu ar nelielu darba ieguldījumu izdosies paplašināt, ietverot tajā arī jonizētās gāzes. Te bija matemātiski elegantas teorijas, un to secinājumu analīze parādīja, ka ir iespējams iegūt ļoti karstu plazmu un to saturēt magnētiskajā laukā. Tas bija kodoltermisko pētījumu izejas punkts. Diemžēl sākumā šīm teorijām bija maz kopīga ar eksperimentālo plazmas fiziku, bet visas sarežģītās un neskaidrās parādības, ar kurām saskārās, pētot elektrisko izlādi gāzēs, tās vienkārši ignorēja. Tādējādi apmēram pirms 10 gadiem iestājās tā sauktā kodoltermiskā krīze. Tā mums parādīja, ka plazmas fizika ir ļoti sarežģīta fizikas nozare, kas var attīstīties, tikai cieši sadarbojoties teorijai un eksperimentam.”

Teorētisko apsvērumu kļūda ir tā, ka daži pieņēmumi neatbilst patiesajiem apstākļiem. “Vairākums teorētiķu tos uzskata par “vispārpieņemtiem”, tie ir izstrādāti ar augstākā mērā izsmalcinātām matemātiskām metodēm, bet pati plazma “nesaprot”, cik skaistas ir teorijas, un kategoriski atteicas tām pakļauties. Tagad jau ir acīmredzams, ka jāmeklē jauna pieeja no pilnīgi citām izejas pozīcijām.”

Vairākumā pētniecības centru Padomju Savienībā, ASV, Francijā, Vācijā un Japānā eksperimentālajos pētījumos izmantoja līdzīgu metodiku. Ar spēcīga lāzerstara impulsu apstaroja nelielu stikla vai plastmasas baloniņu, kas piepildīts ar deitērija un tritija maisījumu. Baloniņu diametrs ir 100 – 200 μm, kas saskaņots ar fokusētā lāzerstara diametru. Jau šādu baloniņu izgatavošana un to piepildīšana līdz 175 atmosfēru lielam spiedienam ir eksperimentālās mākslas paraugs. Dažkārt baloniņu uzpilda ar deitērija un tritija maisījumu cietā stāvoklī, kas nepieciešams, lai panāktu pēc iespējas lielāku daļiņu koncentrāciju. Angļu fiziķa Džona Lousona izvirzītais kritērijs nosaka, ka jāizpildās zināmai sakarībai starp daļiņu blīvumu, impulsa iedarbības laiku un absorbēto enerģiju. Ja daļiņu blīvums ir $5 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$, enerģija $2,4 \cdot 10^6 \text{ J}$, tad iedarbības laikam jābūt $1,4 \cdot 10^{-9} \text{ s}$. Nodrošināt šādu parauga dzīves laiku intensīvas karsēšanas apstākļos ir tehniski grūts uzdevums.

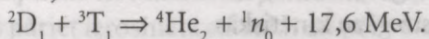
1968. gadā Maskavā Fizikas institūtā izveidoja lāzeru, kurš deva 10^{-11} s īsus impulsus. Eksperimentos ar litija deiterīdu (LiD) pirmoreiz reģistrēja neitronus un pierādīja, ka ar lāzerstaru var vielu uzkarstēt līdz kodoltermiskām reakcijām. 70. gados sāka veidot daudzkanālu lāzerus. ASV izveidoja divkanālu neodima lāzerus “Janus”, “Argus” un “Šīva”, kā arī ogļskābās gāzes lāzeru “Helios”. 1971. gadā PSRS radīja deviņkanālu lāzeru “Kalmārs”.

Iekārta “Argus” izveidota Livermorā uz neodima lāzera, kura izejas jauda ir $2 \cdot 10^{13} \text{ W}$, bāzes. Iekārtā izmantotas divas kvantu pastiprinātāju sistēmas. Abus gaismas kūļus fokusē uz mikrobalonu ar deitērija un tritija maisījumu. Mikrobalons ievietots vakuuma kamerā



Hanness Alfvén
(1908 – 1995)

starp diviem eliptiskiem spoguļiem, kas nodrošina enerģijas efektīvu izmantošanu. Sprauga starp spoguļiem kalpoja plazmas novērošanai un neitronu reģistrēšanai. Bija paredzēts iegūt reakciju



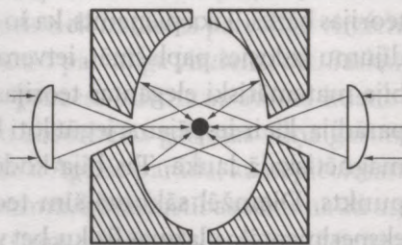
1980. gadā PSRS Zinātņu akadēmijas Fizikas institūtā ierindā stājās daudzkanālu lāzera sistēma "Delfīns", kas izveidota uz neodīma lāzera bāzes. Ģenerētā impulsa ilgums 1 ns, impulsa jauda $10^{12} - 10^{13}$ W. Šāda ir visas pasaules elektrostaciju kopējā jauda. Starojuma spožums sasniedza 10^{16} W/cm². s. Iekārtā izmantoja 108 staru kūļu vienlaikus pastiprināšanu.

80. gados ievērojami panākumi gūti Japānā. Izveidots astoņu kūļu 10 kJ ogļskābās gāzes lāzers LEKKO-VIII. Kopš 1984. gada tiek veikti eksperimenti ar divpadsmit kūļu neodīma lāzeru GEKKO-XII.

1983. gada septembrī Losalamosā, ASV, izmēģināja tajā laikā lielāko ogļskābās gāzes lāzeru "Antares", kurš bija apgādāts ar diviem starojuma pastiprinātājiem. Iegūto impulsa ilgums 1 ns, jauda $1,2 \cdot 10^{13}$ W. Iekārta izmaksāja 60 000 000 dolārus. 1985. gadā Livermoras nacionālajā laboratorijā ierindā stājās iekārta "NOVA". Iekārta impulsa enerģija var sasniegt 100 kJ, ilgums 1 ns. Ir paredzēta iespēja iegūt otro (zaļo) un trešo (zilo) harmoniku. Harmoniku ģenerēšanas lietderības koeficienti atbilstoši ir 70% un 50%.

Nelineārā optika. Lāzera radīšana praktiski nekavējoties izraisīja jaunu zinātņu nozaru rašanos un attīstību. Šķiet, ka visvairāk atklājumu veikts nelineārajā optikā. Īsā laikā ir atklātas daudzas agrāk nepazītas optikas parādības. Lūk, nepilnīgs šo parādību uzskaitījums:

- otrās harmonikas ģenerācija 1961. gadā,
- divu fotonu absorbcija 1961. gadā,
- starojumu summāro un starpību frekvenču ģenerēšana 1962. gadā,
- inducētā kombinatīvā izkliede 1962. gadā,
- trešās harmonikas ģenerēšana 1963. gadā,
- inducētā Mandelštama – Briljuēna izkliede 1963. gadā,
- optiskais Kerra efekts 1964. gadā,
- pašfokusēšanās 1964. gadā,
- pašinducētā caurlaidība 1964. gadā,
- parametriskās svārstības un pastiprināšana 1965. gadā,
- inducētā Releja izkliede 1965. gadā,
- skenējamo kombinatīvo lāzera izveide 1969. gadā,
- daudzkvantu fotoefekts un citas parādības.



Abi lāzestari tiek fokusēti mikrobalonā ar deitērija un tritija maisījumu. Mikrobalons ievietots vakuuma kamerā starp diviem eliptiskiem spoguļiem, kas nodrošina enerģijas efektīvu izmantošanu. Sprauga starp spoguļiem kalpo plazmas novērošanai un neitronu reģistrēšanai

Nelineārā optika ir optikas nozare, kas pēti lielas jaudas gaismas kūļu izplatīšanos vielā un šo kūļu mijiedarbību ar vielu. Spēcīgs gaismas lauks maina vides optiskās īpašības (gaismas laušanu, absorbciju, izkliedi u. c.), tās kļūst par elektriskā lauka intensitātes funkcijām. Nelineārās optikas jēdzienu 1923. gadā fizikā ieviesa S. Vavilovs un V. Ļevšins. Viņi atklāja absorbcijas samazināšanos urānstiklā intensīva apgaismojuma apstākļos. To varēja izskaidrot, pieņemot, ka liela daļa moleklu nonākušas ierosinātā stāvoklī un samazinājies absorbēt spējīgo molekulu skaits.

Nelineārās optikas kā patstāvīgas fizikālās optikas nozares iesākums ir P. Frankena pētījumi par gaismas otrās harmonikas ģenerēšanu 1961. gadā un N. Blombergena teorētiskie darbi 1962. gadā. Ja nelineāru vidi apgaismo divi gaismas kūļi, kuru frekvences ir ω_1 un ω_2 , tad iespējama šādu frekvenču ģenerēšana: $2\omega_1$, $2\omega_2$, $\omega_1 + \omega_2$, $\omega_1 - \omega_2$. Visi šie procesi ir labi pazīstami elastības teorijā, akustikā un radiotehnikā. Taču līdz 1961. gadam neviena no minētajām parādībām nebija pazīstama optikā. Lai novērotu vides nelineāru reakciju, nepieciešami lauki, kuru intensitāte ir ar tādu pašu kārtu kā laukiem atoma iekšienē: $E \approx e/a_0^2 = 10^8 - 10^9$ V/cm.

Frankena eksperimentā rubīna lāzera staru ($\lambda = 694,2$ nm) laida cauri kvarca kristālam. Izejā novēroja ultravioleto starojumu, kura viļņu garums bija divreiz mazāks, t. i., 347,1 nm, lāzera impulsa jauda bija 10 kW (enerģija 10 J, impulsa garums 1 ms), lietderības koeficients mazs – $10^{-6}\%$. Jau 1963. gadā tika radīti efektīvi optisko harmoniku ģeneratori. Pedējā laikā, izmantojot KDP (KH_2PO_4) kristālu, iegūts lietderības koeficients, kas tuvs 100%. To panāk, laižot lāzerstaru cauri kristālam virzienā, kur otrās harmonikas ekstraordinārā stara ātrums vienāds ar ierosinošās gaismas ordinārā stara ātrumu (sinhronizācijas noteikums):

$$n_o(v) = n_e(2v).$$

Divus mēnešus pēc otrās harmonikas atklāšanas ieguva divu starojumu summāro frekvenci, izmantojot divus rubīna lāzerus, kuri darbojās atšķirīgās temperatūrās: istabas un šķidra slāpekļa temperatūrā. Viļņu garumu starpība bija 10 Å. Abu staru kūļu savietošanu veica ar puscaurlaidīgu spoguļi, pēc tam fokusēja uz triglicīnsulfāta (TGS) kristālu. Reģistrēja trīs līnijas 347 nm rajonā, kas atbilda frekvencēm $2\omega_1$, $2\omega_2$ un $\omega_1 + \omega_2$. Starpību frekvence ir maza, un tai atbilstošo līniju varēja novērot ar radiotehniskām metodēm.

Jau gadu pēc lāzeru izgudrošanas Volfgangs Kaizers un Čārlzs Gorets novēroja divfotonu ierosināšanu kalcija fluorīda kristālā ar eiropija piemaisījumu ($\text{CaF}_2:\text{Eu}^{2+}$). Ierosinot ar lāzeru ($\lambda = 6942$ Å), novēroja fluorescenci zilajā gaismā ($\lambda = 4250$ Å). Ka absorbcija notikusi divfotonu procesā, liecināja fluorescences intensitātes kvadrātiskā atkarība no ierosinošās gaismas intensitātes.

Skaidrojot ārējo fotoefektu, pieņēma, ka viena elektrona atbrīvošanai nepieciešama viena fotona absorbcija. Lineārajā optikā to apstiprināja eksperiments. Lāzeru izmantošanā iegūtā pieredze ieviesa korekcijas. Fotonu blīvums lāzerstarā ir tik liels, ka vienlaikus iespējama vairāku fononu absorbcija. Tādēļ nācās pārskatīt fotoefekta likumības un Einšteina formula jāraksta šādi:

$$nh\nu = A + mv^2/2,$$

kur N – vienlaikus absorbēto fotonu skaits. Daudzkvantu fotoefekts ir tipiska nelineārās optikas parādība, kad sarkanā robeža $\nu_0 = A/Nh$ ir atkarīga no vienlaikus absorbēto fotonu skaita, t. i., izpaužas atkarība no gaismas viļņa intensitātes.

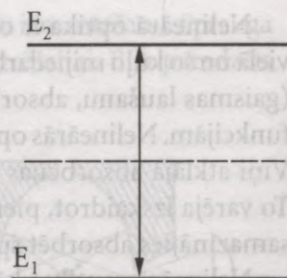
Ja gaismas absorbcija izraisa elektrona pāreju no viena enerģijas stāvokļa citā, neatbrīvojot to no vielas, tad novēro iekšējo fotoefektu. Lineārajā optikā tas parasti saistīts ar vielas elektrovadāmības izmaiņu. Daudzkvantu iekšējais fotoefekts rada situāciju, ka vide kļūst absorbēt spējīga.

Novērojams arī pretējs efekts. Pietiekami intensīva gaisma var dzidrināt absorbējošu vidi. Ja kvantu enerģija ir $h\nu = E_2 - E_1$, tad pietiekami intensīvā apgaismojumā iespējama visu absorbējošo centru pāreja stāvoklī E_2 . Vide zaudē spēju absorbēt kvantus, kuru enerģija ir $h\nu$. Iestājas absorbcijas piesātinājums. Vides dzidrināšanas efektu izmanto fototropos slēdžos milzīgu lāzerimpulsu ģenerēšanai. Fototropais slēdzis, ievietots lāzera rezonatorā, noslēdz gaismas izeju un ļauj uzkrāt lielu enerģiju. Kad enerģija sasniegusi kritisko vērtību, optiskā slēdža vide kļūst dzidra, t. i., slēdzis atveras. Fototropa slēdža inerce atkarībā no izmantotās vides rakstura var mainīties plašās robežās – no 10^{-8} līdz 10^{-2} s.

E. Vudberijs un V. Engss 1962. gadā atklāja, ka gaismas frekvence pārbīdās, ja lāzera rezonatorā ievieto kādu vielu. Frekvenču pārbīdes vienādas ar vielas molekulu svārstību frekvencēm vai to daudzkārtņiem. Tika novērota inducētā kombinatīvā izkliede. Tā atšķiras no Ramana un Mandelštama atklātās spontānās kombinatīvās izkiedes. Inducētā kombinatīvā izkiedē gaisma ir koherenta un antistoksa (augstfrekvenču) komponentu intensitātes ir salīdzināmas ar stoksa (zemfrekvenču) komponentu intensitātēm.

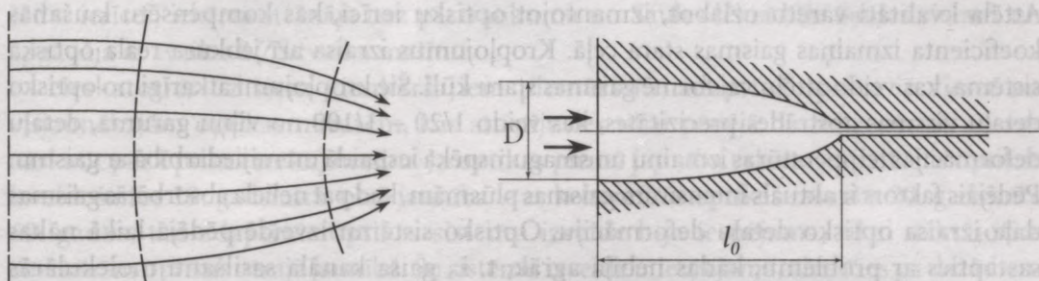
Ja gaismas lauka intensitāte ir $10^6 - 10^8$ V/cm, tad attīstās inducētā Mandelštama-Briljuēna izkliede. Inducēto Mandelštama-Briljuēna efektu 1964. gadā atklāja Raimonds Čao, Boriss Stoičevs un Čārlzs Tauns Masačūsetsas Tehnoloģiskajā institūtā, apstarojot caurspīdīgu vidi (saspīestu gāzi, šķidrumu, stiklu vai kristālu) ar lielas jaudas gaismas kūli $\sim 10^6$ W un novērojot praktiski pilnīgu tā atstarošanos. Ja inducētā kombinatīvā izkiedē izpaužas galvenokārt molekulu individuālās īpašības, tad Mandelštama-Briljuēna izkiedē pārsvaru ņem vides īpašības. Mandelštama-Briljuēna izkiedē ierosinošā un izkiedētā viļņa interferences ainas elektriskie lauki pastiprina elastīgos viļņus (elektrostrikcijas dēļ viela tiek ievilkta vietās, kur liels elektriskais lauks), kas savukārt pastiprina gaismas viļņu izkiedi. Tādējādi, viļņiem izplatoties vidē, izkiede pieaug nelineāri. Šo parādību izmanto lāzera starojuma parametru vadīšanai un viļņu frontes apvēršanai.

Nelineārā vidē laušanas koeficients pieaug proporcionāli gaismas intensitātei. Lāzera stara kūļa intensitāte ir maksimāla centrā – optiskās ass tuvumā – un pakāpeniski



Elektrons vielā var atrasties divos enerģijas stāvokļos E_1 un E_2 . Lai elektronu pārceltu no stāvokļa E_1 stāvoklī E_2 , nepieciešama enerģija $E_2 - E_1$. Ja gaismas kvanta enerģija ir $h\nu_0 = (E_2 - E_1)/2$, tad, no lineārās optikas viedokļa, absorbcija nevar notikt un viela būs dzidra. Divkvantu iekšējā fotoefekta dēļ pāreja var realizēties, un gaisma, kuras frekvence ir ν_0 , absorbēsies. Dotā vide šādā gadījumā kļūst necaurspīdīga.

samazinās uz kūļa malām. Tādēļ arī laušanas koeficients ir lielāks uz gaismas kūļa ass. Tas izraisa gaismas pašfokusēšanos. Pētījumi dažādos šķidrumos parādīja, ka var iegūt gaismas kūļus, kuru diametrs ir milimetra tūkstošdaļas. Pašfokusēšanās efektu var izmantot enerģijas koncentrēšanai un augstu temperatūru iegūšanai.



Lāzera stara kūļa intensitāte ir maksimāla centrā. Tādēļ arī laušanas koeficients ir lielāks uz gaismas kūļa ass. Tas izraisa gaismas pašfokusēšanos

Jau aplūkojām gadījumus, kad nelineārā vidē divi vai vairāki fotoni apvienojas. Iespējams arī pretējs process, kad viens primārais fotons “sabrūk” divos sekundārajos. Fotoniem, kas piedalās šajā procesā, izpildās enerģijas un impulsa saglabāšanas likums:

$$\mathbf{p} = \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2, \quad h\nu = h\nu_1 + h\nu_2.$$

Aplūkoto procesu sauc par gaismas parametrisko ģenerāciju. Principā jebkuru no frekvencēm (ν_1 vai ν_2) var pakāpeniski mainīt robežās no 0 līdz ν . Parametriskās ģenerēšanas realizēšanai nepieciešams vienkāršs kristāls, kuram ir relatīvi augsta nelineārā uzņēmība. Kristāls jāievieto rezonatorā ar tādu aprēķinu, lai apmierinātu sinhronizācijas noteikumu:

$$n_o(\nu_1) = n_e(\nu_2 = \nu - \nu_1).$$

Sinhronizācijas virzienam jāsakrīt ar rezonatora optisko asi. Tad rezonatorā iestaro uzpompēšanai nepieciešamo koherento gaismas vilni, kura frekvence ir ν . Šim vilnim ir jābūt pietiekami intensīvam, lai izpaustos kristāla nelineārās īpašības.

Sakarā ar femtosekunžu ($1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$) lāzeru izveidošanu, kas ģenerē superintensīvus gaismas laukus (10^{19} W/cm^2), zinātnē izvirzās jauni uzdevumi.

- Jaudīgu lāzerimpulsu mijiedarbība ar relativistiskiem elektroniem dod cerības novērot nelineāro Komptona izkliedi (10^{20} W/cm^2).
- Sagaidāms Čerenkova starojums vakuumā, kuru polarizējis gaismas vilnis (10^{23} W/cm^2).
- Var notikt vakuuma caursite, t. i., elektrona–pozitrona pāru rašanās (10^{30} W/cm^2 , 10^{16} V/cm).

Adaptīvā optika. Ir zināms, ka, gaismai izplatoties atmosfērā, rodas fāzu izkropļojumi, ko rada nelielas gaisma laušanas koeficienta fluktuācijas. Novērojot teleskopā spožu zvaigzni, kas atrodas tuvu horizontam, var konstatēt tās drebbēšanu. Ja zvaigzni aplūko ar neapbruņotu aci, tad novēro tās spožuma un krāsas izmaiņas. Spožuma izmaiņas var izskaidrot ar gaismas staru koncentrēšanos un izretināšanos, ejot cauri atmosfērai.

Stāvokļa un krāsas izmaiņas izraisa gaismas staru izliekšanās un dispersija silta un auksta gaisa strāvās.

Optiskā diapazona viļņiem laušanas koeficienta fluktuācijas izraisa nelielas temperatūras svārstības no 0,1 līdz 1 °C, kas rodas vēja darbības un konvekcijas iespaidā. Šo efektu labi pazīst astronomi, kas novēro tālus objektus cauri visai Zemes atmosfērai. Attēla kvalitāti varētu uzlabot, izmantojot optisku ierīci, kas kompensētu laušanas koeficienta izmaiņas gaismas stara ceļā. Kropļojumus izraisa arī jebkura reāla optiska sistēma, kas veido attēlu vai formē gaismas staru kūli. Šie kropļojumi atkarīgi no optisko detaļu virsmas apstrādes precizitātes, kas veido 1/20 – 1/100 no viļņu garuma, detaļu deformācijas temperatūras izmaiņu un smagumspēka iespaidā un mijiedarbībā ar gaismu. Pēdējais faktors ir aktuāls intensīvām gaismas plūsmām, kad pat neliela absorbētās gaismas daļa izraisa optisko detaļu deformāciju. Optisko sistēmu izveidē pēdējā laikā nākas sastapties ar problēmu, kādas nebija agrāk, t. i., gaisa kanāla sasilšanu molekulārās absorbcijas dēļ, ja pa to izplatās spēcīga gaismas plūsma. Šis sasilšanas dēļ veidojas it kā negatīva gaisa lēca un samazinās signāla jauda, palielinot gaismas avota jaudu.

Šeit minēti galvenie gaismas kūļa kropļojošie faktori, ko jācenšas kompensēt adaptīvai optikai. Tie izraisa viļņu frontes fāzu kropļojumus, t. i., tiek izjaukta telpiskā koherence. Koherence saglabājas tikai nelielos rajonos, kuru lieluma kārtā ir samērāma ar vides nevienmērībām. Koherences rādiusu atmosfērai nosaka starojuma viļņu garums, atmosfēras stāvoklis un novērošanas leņķis.

Fāzu novirzes var sasniegt 2π rad un vairāk. Nonākot fokusā, viļņi interferē, bet fāzu izkļiedes dēļ intensitāte būs mazāka, salīdzinot ar neizkropļotas viļņu frontes gadījumu. Intensitāte var samazināties 10 līdz 100 reizu. Bez tam fāzu atšķirības starp koherences rajoniem nepārtraukti mainās, tādēļ novēro intensitātes fluktuācijas – mirgošanu. Mirgošanas biežums var būt no dažiem herciem līdz dažiem desmitiem hercu, dažkārt sasniedzot ap 100 Hz. No šejienes izriet, ka atmosfēras turbulences kompensēšanai jārealizē optisks elements, kurš ar mirgošanas frekvenci izmainītu optisko ceļa garumu atbilstoši fāzu novirzēm katrā koherences rajonā. Vienkāršākais risinājums varētu būt šāds.

Var izveidot spoguļi no mazām sekcijām, kur katra sekcija spēj pārvietoties perpendikulāri atstarojošai virsmai. Pārvietošanos var realizēt ar precīziem ātrdarbības pjezoelementiem, kas maina savu garumu atkarībā no pieliktā sprieguma lieluma un zīmes, vai elektromagnētiem. Viļņu frontes izkropļojumu pakāpes noteikšanai var izmantot interferenci, reģistrējot analizējamā kūļa fāzi. Bez tam nepieciešama informācijas apstrāde un vadības signālu nodošana spoguļu sekcijām. Visas operācijas veicamas reālā laikā, kas mazāks par fāzes izmaiņas laiku. Atmosfēras turbulences kompensēšanai tas ir dažas milisekundes.

Adaptīvās optikas iezīmes var saskatīt jau pasākumā, ko realizēja Arhimēds 211. gadā p. m. ē., kad viņš izveidoja milzīgu spoguļi, sastāvošu no daudzām sekcijām, kur katru sekciju vadīja viens cilvēks. Savietojot atsevišķo spoguļu veidotos Saules attēlus vienā vietā uz pretinieka kuģa korpusa, viņš panāca tā aizdegšanos. Šāda pasākuma realitāti nesēn, 1973. gadā, pierādīja grieķu inženieris Joaniss Sakass.

mi Grandioza iekārta tika uzbūvēta Losandželosā. Tur izveidoja ieliektu spoguļi, kurš sastāvēja no 1700 maziem plakaniem spoguļiņiem. Spoguļa kopējais diametrs 11 m, tā fokusā novietots 4 m garš cilindrisks katls. Tvaiks no šā katla darbināja zemspiediena tvaika mašīnu. Lai pilnīgāk izmantotu Saules starus, spēcīgs pulksteņa mehānisms grieza spoguļi ar katlu tā, lai spoguļis vienmēr koncentrētu Saules starus uz katlu. Pateicoties šādai ierīcei, iekārta strādāja bez pārtraukuma no Saules lēkta līdz Saules rietam un apgādāja ar tvaiku 8 ZS tvaika mašīnu.

Neskatoties uz šiem vienkāršajiem piemēriem, adaptīvā optika ir viena no visjaunākajām optikas nozarēm, kas attīstījusies tikai pēdējā desmitgadē, un to var uzskatīt par optikas trešo jaunību. Ja optikas pirmā jaunība saistīta ar fizikālās optikas izveidošanos 19. gadsimtā, otrā jaunība – ar koherentās optikas rašanos 20. gadsimta 60. gados, tad adaptīvās optikas sistēmu izveide bija iespējama, tikai uzkrājoties zināšanām optikas otrajā jaunībā. Šo sistēmu izveide ir iespējama, virzoties pa dažādiem ceļiem. Viens no šiem ceļiem ir viļņu frontes apvēršana.

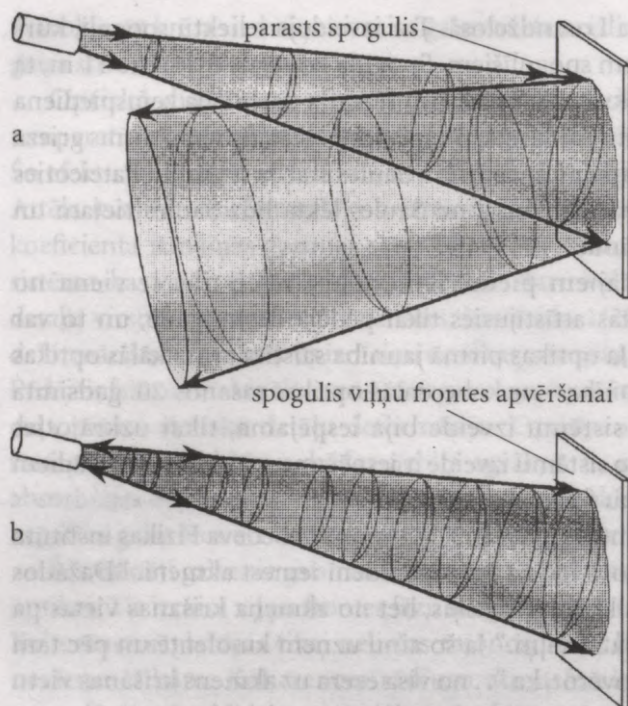
Lai uzskatāmi ilustrētu viļņu frontes apvēršanu, Maskavas Ļebedeva Fizikas institūta zinātnieki B. Zeļdovičs un V. Škunovs iesaka mierīgā ūdenī iemest akmeni. “Dažādos virzienos lidojošas šlakatas pavada kluss plunkšķis, bet no akmeņa krišanas vietas pa ūdens virsmu uz visām pusēm izplatās viļņi.” Ja šo ainu uzņem kinolentē un pēc tam demonstrē pretējā secībā, tad var novērot, ka “. . . no visa ezera uz akmens krišanas vietu strauji saplūst viļņi, visas šlakatas ar apbrīnojamu precizitāti sanāk kopā centrā, akmens sauss izšaujas no ūdens, un nākamajā acumirkli ezera spoguļis sastingst savā pirmatnējā skaistumā”. Ar kino palīdzību izdodas pagriezt laiku pretējā virzienā. Reālā dzīvē to diemžēl neizdodas veikt.

Taču viļņu izklišanai un ūdens pilienu izšķakstīšanai ir zināma analogija koherentā optikā. Vērsts lāzera staru kūlis, ejot cauri nevienmērīgai videi, izkliedējas daudzos kūlišos. Ja izdotos līdzīgi kā ar kinoaparātu pavērst laiku atpakaļ, tad novērotu, ka izkļīstošie gaismas kūļi, nonākot nevienmērīgā vidē un ejot tai cauri, apvienotos ideālā vērsta kūlī. Izrādās, ka koherentajā optikā šādu procesu ir iespējams realizēt. Tas nav pretrunā arī ar Maksvela vienādojumiem. Tie paliek invarianti, mainot laika zīmi.

Vispārīgā gadījumā, ja ir gaismas kūlis ar patvaļīgu viļņu fronti, tad apvērstu vilni var iegūt ar tāda spoguļa palīdzību, kura profils sakrīt ar viļņa frontes profilu. Diemžēl šādu spoguļi grūti realizēt. Uzdevuma veikšanai izstrādātas divas metodes, kas balstās uz četrus viļņu jaukšanas un inducētās Mandelštama – Briljuēna izkļiedes izmantošanu.

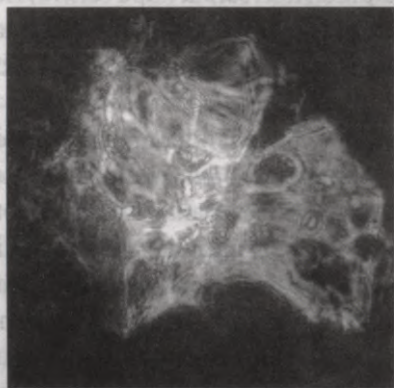
1972. gadā J. Zeļdovičs un Škunovs realizēja viļņu frontes apvēršanas eksperimentu. Lielas jaudas rubīna lāzera sarkanās gaismas kūli izkropļoja, laižot to cauri matētam stiklam. Pēc tam šo kūli laida caurulē, kas pildīta ar metāna gāzi augstā spiedienā. Inducētās Mandelštama – Briljuēna izkļiedes dēļ pēc mijiedarbības ar gāzes molekulām gaismas kūlis atstarojās un, izejot cauri matētā stikla tai pašai vietai, bija neizkropļots. Tas skaidrojams tādējādi, ka atstarotajā vilnī fāzes ir pretējas, salīdzinot ar fāzēm vilnī, kas izkropļots matstiklā.

Var rasties jautājums, ko mēs ieraudzīsim, raugoties spoguļi, kas apvērš viļņa fronti. Parastā spoguļi novērotājs, protams, redz savu seju, jo stari, ko izkļiedē dažādi sejas



Ir viegli apvērst plakānu viļņi. Šim nolūkam nepieciešams plakāns spogulis, kas orientēts tā, lai viļņi atstarotos tieši atpakaļ. Nav grūti apvērst arī sfēriskas formas viļņi. To var izdarīt ar sfērisku spoguļi, kura liekuma centrs ir savietots ar gaismas avotu. Tad stari katrā spoguļa punktā atstarosies tieši atpakaļ. Svārstību fāze patvaļīgam punktam apvērsta viļņi ir ar pretēju zīmi, salīdzinot ar atbilstošu punktu primārajā viļņi. Primārais un apvērsta viļņi ir fāzē saistīti viļņi.

a – parasts spogulis krītošo viļņi tikai atstaro;
 b – spogulis, kas viļņu fronti apvērš, neatkarīgi no krišanas leņķa formē fāzē saistītu viļņi



Spogulis, kas apvērš viļņu fronti, var kompensēt objekta attēla kropļojumus. Abās fotogrāfijās dotais attēls tika izkropļots, laižot gaismas kūli cauri matstiklam. Atstarojot atpakaļ caur to pašu matstikla vietu parastā spoguļi, ieguva neatpazīstamu attēlu. Attēla atspoguļošana atpakaļ caur matstiklu ar spoguļi, kurš apvērš viļņu fronti, koriģēja attēla kropļojumus. Attēlus ar argona lāzeru ieguvis Dž. Fainbergs Dienvidkalifornijas universitātē

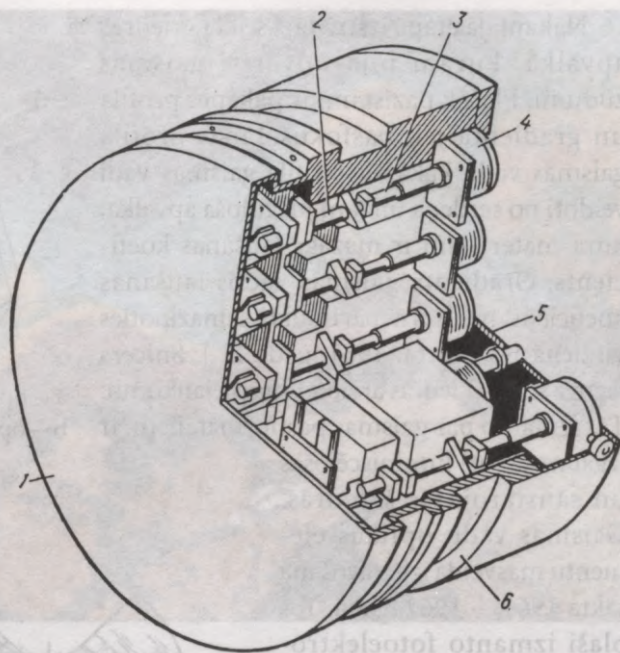
punkti, spoguļi atstarojas un nonāk acīs. Spoguļi, kas apvērš viļņa fronti, sejas izkļiedētā gaisma atgriezīsies atpakaļ izkļiedes punktos. Piemēram, gaisma, ko izkļiedēs deguns, atgriezīsies precīzi atpakaļ uz deguna. Vienīgais, ko saskatīs novērotājs, būs gaisma, ko izkļiedēs tiklence un kas no spoguļa atgriezīsies acī. Novērotājs redzēs vienmērīgi apgaismotu spoguļa virsmu bez jebkādam detaļām.

Otrs paņēmiens, kā iegūt apvērstu vilni, ir četru viļņu jaukšanas metode. Tā pamatojas uz četru viļņu mijiedarbību vidē, kurai tiek pievadīti trīs viļņi. Viens no tiem ir objekta vilnis, kura fāze ir jāapvērš, divi pārējie ir atbalsta viļņi, kuri izplatās viens otram pretī. Ceturtais vilnis, kuru ģenerē vide, ir apvērsts attiecībā pret objekta vilni. Procesu var skaidrot šādi. Objekta un viens no atbalsta viļņiem veido interferences ainu. Tajā atstarojas otrs atbalsta vilnis. Tā kā otrs atbalsta vilnis izplatās pretī pirmajam, tad atstarotais vilnis ir objekta vilnim fāzē saistītais vilnis.

Cits adaptīvās optikas attīstības virziens saistīts ar salikto spoguļu un deformējamu virsmu izmantošanu. 20. gadsimta 70. gados parādījās pirmie ātrdarbības optiskie spoguļi ar maināmu virsmas ģeometriju.

Gaismas vadu optika.

1870. gadā Džons Tindals Londonas Karaliskajā biedrībā demonstrēja, kā gaisma izplatās pa izliektu ūdens strūklu, kas izplūda pa caurumu trauka sānos. Parādības pamatā ir pilnīgā iekšējā atstarošanās uz optiski blīvākas un mazāk blīvas vides robežas. Krievu zinātnieks Vladimirs Čikoļevs (1845 – 1898) 19. gadsimta 80. gados izmantoja atstarošanas dobtos metāla cilindros, lai gaismu no vienas loka lampas novadītu vairākās telpās. H. Saints Renē 1910. gadā ieteica izmantot izliektus gaismu vadošus elementus fototelegrāfā. 1927. gadā J. L. Bairds (Anglijā) aplūkoja iespēju izmantot stikla pavedienus (šķiedras) bez apvalka, lai pārraidītu un izvērstu attēlu. 1951. gadā A. van Hils Holandē un H. Hopkins ar N. Kapani Londonā sāka pētīt attēla pārraidīšanas iespēju pa kabeli no regulāri sakārtotām stikla šķiedrām. Van Hila galvenais sasniegums ir stikla šķiedru izgatavošana plastmasas apvalkā. Kapani savukārt izstrādāja šķiedru regulāras sakārtošanas tehnoloģiju kabeli. Viņš pirmais ieguva neizkropļotu attēlu ar kabeli, kur regulāri izkārtotas stikla šķiedras 50 μm diametrā bez apvalka. Kapani arī pirmais ieviesis jēdzienu "gaismas vadu optika".

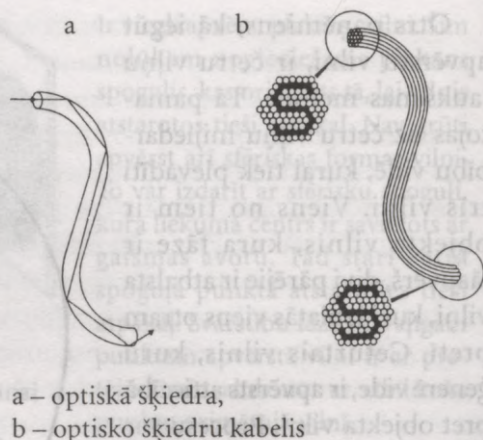


Ātrdarbības adaptīvais optiskais spoguļis ar maināmu spoguļa virsmas ģeometriju, radīts darbam IS rajonā (firma *Rockwell International, ASV*).

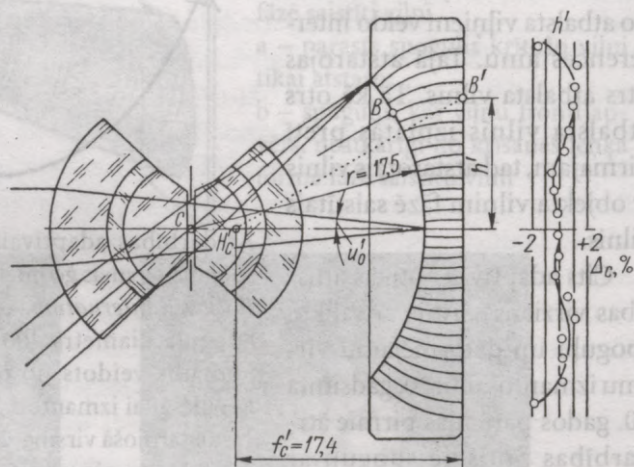
Spoguļa diametrs 400 mm, liekuma rādiuss 10,325 m. Spoguļis veidots no 6 mm biezās alumīnija plāksnes. Regulēšanai izmantoti 19 pievadi.

1 – atstarojošā virsma, 2 – vītņu pievads, 3 – pjeoelektriskā modulatora pievads, 4 – elektromotors, 5 – hermetizējoša plāksne, 6 – spoguļa korpuss

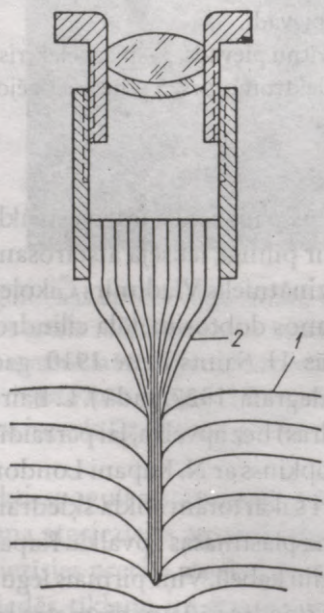
Nākamajā etapā izstrādāja stikla šķiedras apvalkā, kurām bija novērsti gaismas zudumi. Plašāk pazīstami ir pakāpes profila un gradienta jeb pašfokusēšanās profila gaismas vadi. Pakāpes profila gaismas vadi veidoti no serdeņa un tam pieguloša apvalka, kura materiālam ir mazāks laušanas koeficients. Gradienta gaismas vadus laušanas koeficients mainās nepārtraukti, samazinoties virzienā no centra. 1961. gadā E. J. Snickers ieguva stikla šķiedras ar neodima piejaukumu. Tās izmanto par gaismas pastiprinātājiem. Ir izgatavotas arī luminiscējošas un sānstarojošas šķiedras. Gaismas vadu optikas elementu masveida izgatavošana sāka 1961. – 1962. gadā. Tos plaši izmanto fotoelektroniskās un kopēšanas ierīcēs, fotogrāfijā, lāzerfizikā, IS tehnikā, informācijas apstrādē un pārraidē, medicīnā un daudzās citās nozarēs.



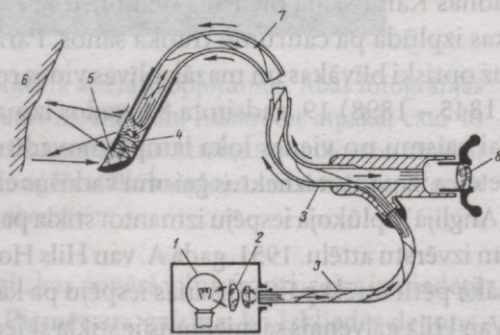
a – optiskā šķiedra,
b – optisko šķiedru kabelis



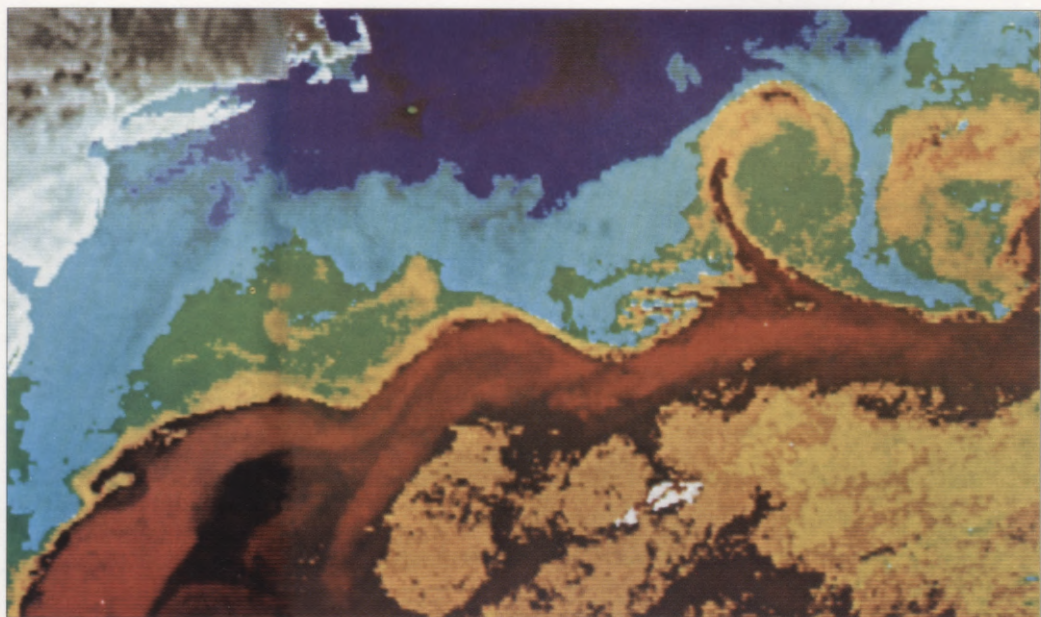
Redzes lauka kropļojumu izlabošana ar gaismas vadu optikas elementu



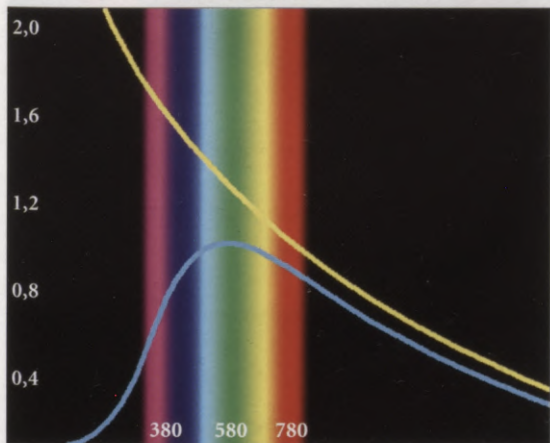
Mikroskopa–adatas shēma: 1 – pētāmie audi, 2 – fokons ar slīpi šķeltu galu



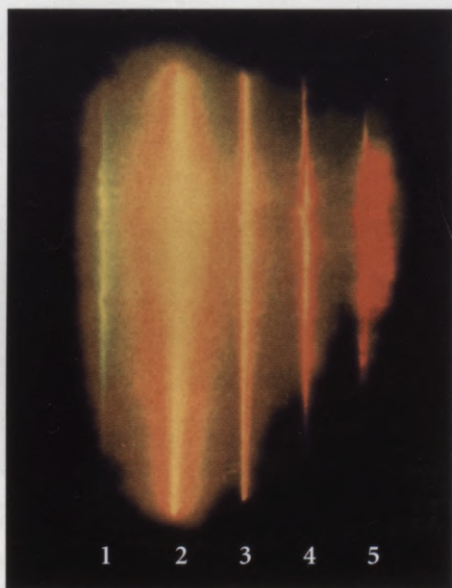
Gaismas vadu endoskops: 1 – gaismas avots, 2 – siltumu aizturošs stikls, 3 – kabeļa apvalks, 4 – objektīvs, 5 – prizma, 6 – objekts, 7 – kabelis, 8 – okulārs



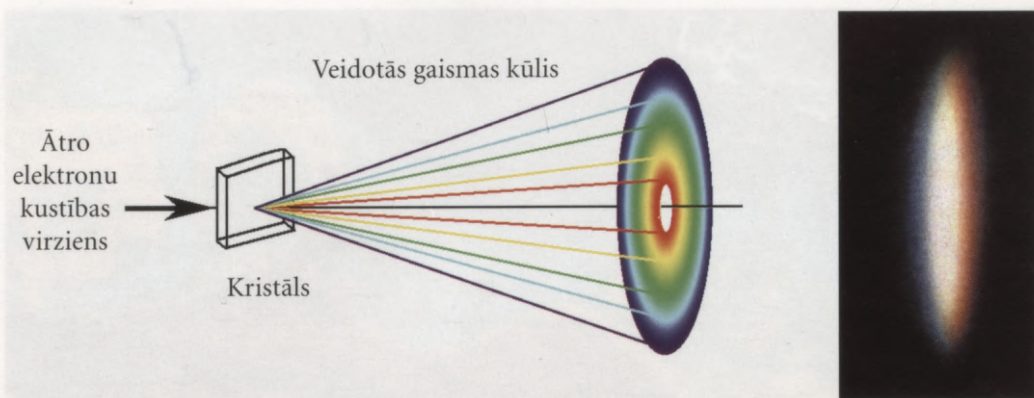
Atlantijas okeāna ziemeļrietumu daļas uzņēmums nosacītās krāsās, kas ataino IS starojuma sadalījumu no ūdens virsmas 1981. gada septembrī. Golfa straume (sarkanā krāsā) stiepjas no dienvidrietumiem uz ziemeļaustrumiem. Rietumos no mākoņu grupas (baltā krāsā) veidojas aukstā ūdens virpuļi (bronzas krāsā). Uz ziemeļiem no Golfa straumes veidojas siltā ūdens virpuļi (zaļā krāsā). Aukstā ūdens virpuļi Sargasu jūrā sasniedz 300 km diametru. Attēls iegūts no pavadoņa NOAA-7 (ASV)



Enerģijas sadalījums absolūti melna ķermeņa spektrā 5250 K temperatūrā atbilstoši Planka formulai (zilā līkne) un Releja – Džīnsa formulai (dzeltenā līkne)



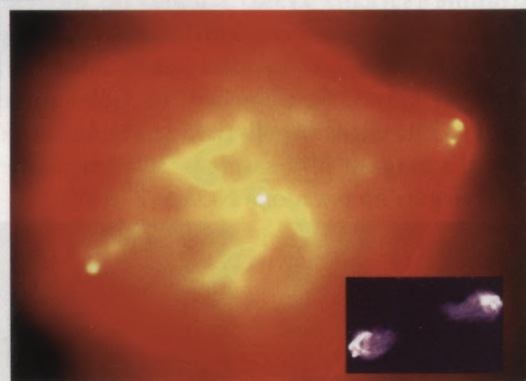
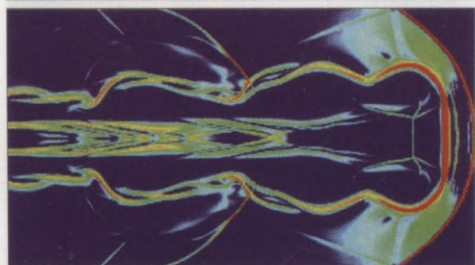
Kombinātīvās izkliedes spektrs benzolā. 1 – pirmā antistoksa komponente ($\lambda = 0,503 \mu\text{m}$), 2 – neodima lāzera starojuma dubultfrekvences līnija ($\lambda = 0,53 \mu\text{m}$), kura izmantota KI ierosināšanai, 3 – pirmā Stoksa komponente ($\lambda = 0,56 \mu\text{m}$), 4 – otrā Stoksa komponente ($\lambda = 0,59 \mu\text{m}$), 5 – trešā Stoksa komponente ($\lambda = 0,62 \mu\text{m}$)



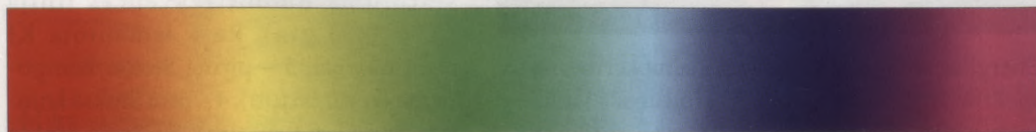
Čerenkova starojuma novērošanas eksperimenta shēma un krāsu uzņēmums



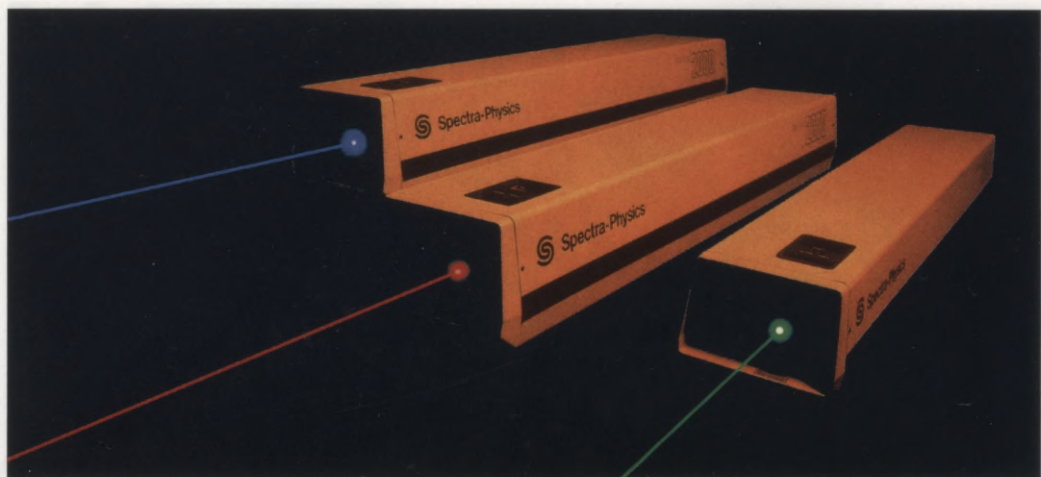
Pa kreisi: brīdī, kad lidmašīna pārvar skaņas barjeru, aiz tās veidojas konuss ar pazeminātu spiedienu (Čerenkova efekta mehāniskais analogs). Tas izraisa ūdens tvaiku kondensāciju. Lieli meteorīti un kosmiskie kuģi dažkārt veido līdzīgu ainu. *E. Geja foto*



Ja elektroni vai protoni strūklā, ko emitē kvazāri vai melnie caurumi, kustas ar gaismai tuvu ātrumu, tad tiem ir milzīga enerģija. Datorgrafikā (pa kreisi) attēlota šo daļiņu, kuru kustības ātrums ir 98% no gaismas ātruma, mijiedarbības efekti ar starpzvaigžņu vidi. *P. Hadžesa, K. Dankana foto*
Ar līdzīgas augstas enerģijas daļiņu strūklas darbību var izskaidrot Gulbja A apkaimē novērotās struktūras. Fotografijā (pa labi) dots Gulbja A X-staru attēls nosacītās krāsās un stūrī – radioattēls. *A. Vilsona, A. Junga, P. Šopbella foto*



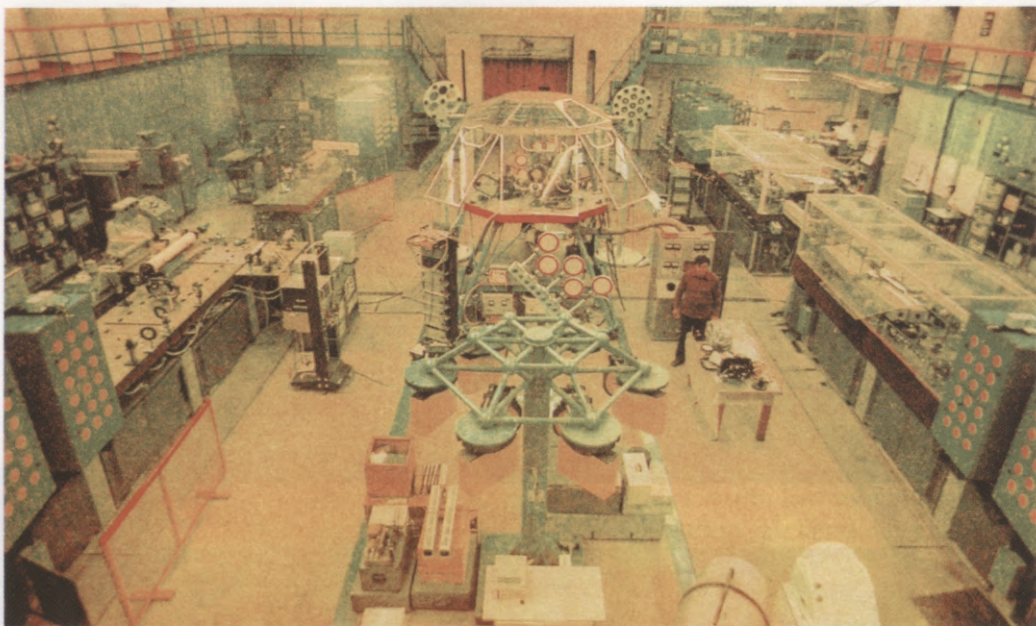
Nepārtrauktā spektrā krāsu pāreja ir pakāpeniska



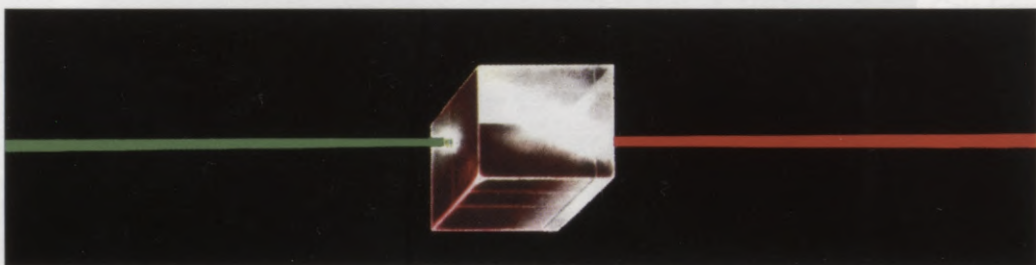
Jonu lāzeriekārtas



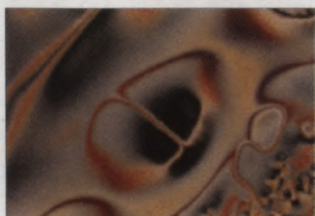
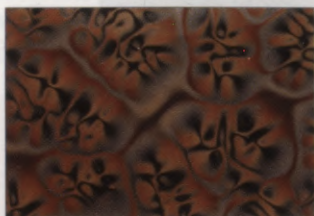
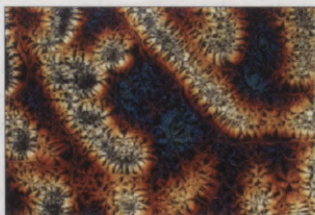
Lāzera tālmērs Potsdamā, kas paredzēts ZMP novērošanai. Teleskopa objektīva diametrs 40 cm, rubīna lāzera jauda 40 MW, impulsa ilgstība 3 ns, atkārtšanas periods 6 s



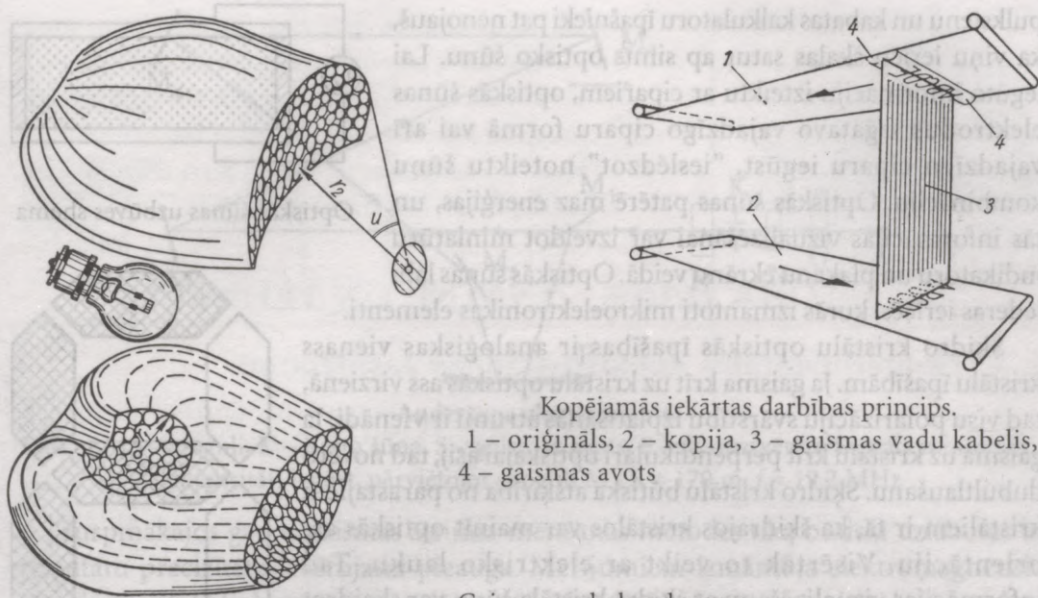
Iekārta "Delfins" deitērija un tritija kodoltermisko reakciju pētīšanai



Gaismas frekvences dubultošana. Neodima lāzera stars ($\lambda = 1,06 \mu\text{m}$) bārija niobāta kristālā ierosina otro harmoniku ($\lambda = 0,53 \mu\text{m}$)



Dažāda tipa šķidro kristālu struktūra *Oļega Lavrentoviča foto*



Kopējamās iekārtas darbības princips.

- 1 – oriģināls, 2 – kopija, 3 – gaismas vadu kabelis,
4 – gaismas avots

Gaismas vadu kondensators

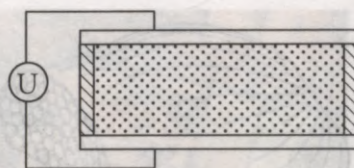
Šķidro kristālu optika. 1888. gadā austriešu zinātnieks botāniķis F. Reinicers, pētot jaunu nesenu sintezētu vielu – holesterilbenzoātu, konstatēja interesantu efektu. Šīs vielas kristāli kūst 145°C temperatūrā, veidojot duļķainu gaismu izkļiedējošu šķidrumu. 179°C temperatūrā šķidrums kļūst dzidrs. Reinicers lūdza vācu fiziķi O. Lēmanu sadarboties šīs vielas izpētē. Lēmans, izmantojot polarizācijas mikroskopu, noskaidroja, ka šķidruma duļķainā fāzē ir optiski anizotropa.

Dubultlaušana ir īpašība, kas piemīt kristāliskām vielām. Tādēļ Lēmans šo jauno vielas stāvokli nosauca par “šķidro kristālu”. Tagad izmanto arī jēdzienu “mezomorfisms”, kas raksturo vielas stāvokli, kad tai ir gan kristāliskas vielas īpašības (dubultlaušana), gan arī šķidruma īpašības (plūstamība). Šķidro kristālu var iedomāties kā šķidrumu, kurā visas molekulas ir vienādi orientētas (kā kristālā), bet molekulu smagumcentri kustas haotiski (kā šķidrumā). Daudziem pētniekiem šādu pretrunīgu īpašību apvienojums šķīta neiedomājams, tādēļ ilgu laiku attieksme pret šķidrājiem kristāliem bija skeptiska. Plašu popularitāti šķidro kristālu izstrādājumi guva tikai šā gadsimta vidū, sākot ar “garastāvokļa gredzeniem”, kuru zilīte maina krāsu atkarībā no valkātajā garastāvokļa, un beidzot ar šķidro kristālu projektoriem, televizoriem un monitoriem.

Vācu ķīmiķis D. Forlenders konstatēja, ka kristāla īpašības ir tiem organiskajiem savienojumiem, kuru molekulām ir pagarināta forma. Jau 1908. gadā bija sintezēts ap 250 tādu savienojumu. Tagad to skaits pieaudzis pāri 3000.

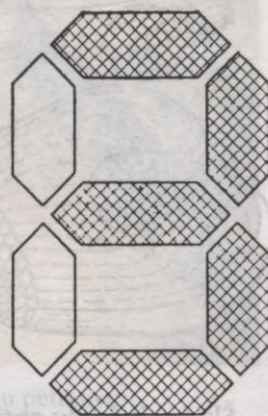
Molekulu orientēšanai var izmantot dažādus efektus: elektrisko lauku, magnētisko lauku, ierobežojošo virsmu struktūru u. c. Ja šķidro kristālu ievieto starp caurspīdīgām plāksnītēm, tad iegūst optisko šūnu. Atkarībā no optiskās šūnas izmantošanas mērķiem plāksniņu vietā var izmantot polaroidus, gaismu caurlaidīgus elektrodus vai gaismu absorbējošus slāņiņus. Mūsdienu tehnoloģija ļauj veidot miniatūras optiskas šūnas. Daudzi

pulksteņu un kabatas kalkulatoru īpašnieki pat nenojauš, ka viņu ierīču skalas satur ap simts optisko šūnu. Lai iegūto informāciju izteiktu ar cipariem, optiskās šūnas elektrodus izgatavo vajadzīgo ciparu formā vai arī vajadzīgo ciparu iegūst, “ieslēdzot” noteiktu šūnu kombināciju. Optiskās šūnas patērē maz enerģijas, un tās informācijas vizualizēšanai var izveidot miniatūru indikatoru un plakanu ekrānu veidā. Optiskās šūnas labi iederas ierīcēs, kurās izmantoti mikroelektronikas elementi.



Optiskās šūnas uzbūves shēma

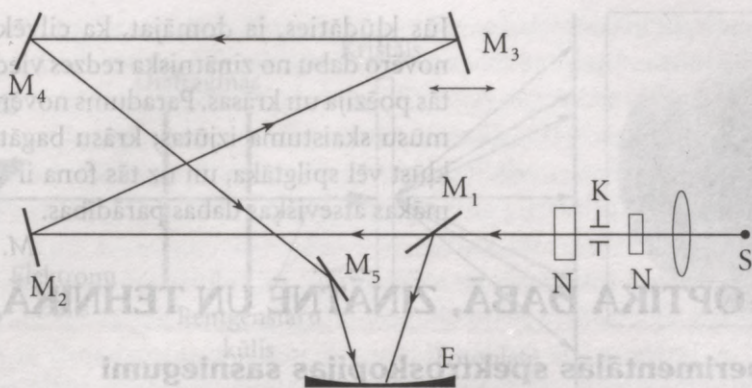
Šķidro kristālu optiskās īpašības ir analogiskas vienas kristālu īpašībām. Ja gaisma krīt uz kristālu optiskās ass virzienā, tad visu polarizāciju svārstību izplatīšanās ātrumi ir vienādi. Ja gaisma uz kristālu krīt perpendikulāri optiskajai asij, tad novēro dubultlaušanu. Šķidro kristālu būtiska atšķirība no parastajiem kristāliem ir tā, ka šķidrajos kristālos var mainīt optiskās ass orientāciju. Visērtāk to veikt ar elektrisko lauku. Tad informācijas vizualizēšanu ar šķidrā kristāla šūnu var skaidrot šādi. Ja optiskās šūnas virsmas ir pārklātas ar savstarpēji krustotām polaroīdu plēvītēm, tad, mainot elektriskā lauka pielikšanas virzienu, optisko šūnu var pārvērst no optiski caurlaidīgas optiski necaurlaidīgā un otrādi. Elektriskais lauks izraisa šķidrā kristāla molekulu orientācijas pārkārtošanu. Pārkārtošanai nepieciešams apmēram vienu voltu liels spriegums un milisekundi ilgs laika sprādis.



Vajadzīgo ciparu iegūst, “ieslēdzot” noteiktu šūnu kombināciju

Šķidro kristālu indikatori būtiski atšķiras no citu tipu indikatoriem (televizoru ekrāniem, gaismas diodēm), no kuriem informācija labāk iegūstama nelielā apkārtnes apgaismojumā. Šķidro kristālu gadījumā informācija labāk redzama intensīvā apgaismojumā. Tumsās telpās vai naktī šiem indikatoriem nepieciešams papildu apgaismojums.

Jaunākie gaismas ātruma mērījumi. 1862. gadā Fuko ieguva gaismas izplatīšanās ātrumu $298\,000 \pm 500$ km/s. Vēlāk, laika periodā no 1862. līdz 1908. gadam, daudzkārt tika veikti gaismas ātruma mērījumi, izmantojot zobrata un rotējoša spoguļa metodes, kā arī nosakot elektromagnētisko un elektrostatisko vienību attiecību. Ieguva vērtības visai plašās robežās no 280 900 līdz 310 800 km/s. Periodā no 1908. gada līdz 1940. gadam notika virkne svarīgu izmaiņu. Pieauga mērījumu precizitāte, un radās jaunas metodes, kas turpmāk ļāva ievērojami samazināt mērījumu kļūdas. Tika izmantotas metodes ar rotējošu daudzskaldņu spoguļi (Maikelsons), Kerra šūnu (Karoluss, Mitelštats), elektriskās metodes (Merse) u. c. Tika iegūtas gaismas ātruma vērtības robežās no 299 802 km/s līdz 299 776 km/s. Andersons 1941. gadā noteica gaismas ātrumu, izmantojot Kerra šūnu un fotoelektrisku registrēšanu. Viņš izmantoja shēmu, kur gaisma izplatās pa diviem ceļiem: garo un īso. Eksperimentā reģistrēja minimālo signālu, tad $c = 2fS/n$, kur f – modulācijas frekvence, S – gaismas ceļu starpība, $n = 1, 3, 5...$ Tika izdarīti ap 3000 mērījumu, kuros noteica $c = 299\,776 \pm 14$ km/s.



Andersona eksperiments.

$M_1 - M_5$ – spoguļi, K – Kerra šūna, S – gaismas avots, F – fotouztvērējs. Signāla minimālo intensitāti iegūst, pārvietojot spoguļi M_3 . $S = 170$ m, $f = 19,2$ MHz

Turpmākajos gados gaismas ātruma mērīšanas metodes tika būtiski uzlabotas un rezultātu precizitāte ievērojami pieauga. Mērījumiem izmantoja elektromagnētisko starojumu plašā frekvenču intervālā no 10^9 līdz 10^{16} Hz. Iegūtie rezultāti ļauj apgalvot, ka šā diapazona elektromagnētisko viļņu izplatīšanās ātrums ir konstants lielums, kļūdai nepārsniedzot $1 \cdot 10^{-6}$. Starptautiskā ģeodēzijas un ģeofizikas savienība rekomendēja par starptautisko standartu kopš 1958. gada pieņemt gaismas ātrumu vakuumā

$$c = 299\,792,5 \pm 0,4 \text{ km/s.}$$

Amerikāņu zinātnieks K. Ivensons ar līdzstrādniekiem 1972. gadā ar cēzija frekvenču standartu noteica CH_4 lāzera starojuma frekvenci, sasniedzot precizitāti līdz 11. zīmei. Neatkarīgi ar kriptonu viļņa garuma standartu ($3,39 \mu\text{m}$) izmērija starojuma viļņu garumu un ieguva $c = 299\,792\,456,2 \pm 0,8$ m/s. Saskaņā ar Ģenerālās asamblejas starptautiskās komitejas lēmumu pieņemts, ka gaismas ātrums vakuumā ir

$$c_0 = 299\,792\,458 \pm 1,2 \text{ m/s.}$$

Ir izteikti priekšlikumi pieņemt gaismas ātrumu par mērvienību. Tādā gadījumā garuma mērvienību varētu atvasināt no ātruma vienības un laika mērvienības, kas pašreiz ir visprecīzāk noteiktais fizikālais lielums.



(1879 - 1960)

Jūs kļūdāties, ja domājat, ka cilvēkam, kurš novēro dabu no zinātniska redzes viedokļa, zūd tās poēzija un krāsas. Paradums novērot precīzē mūsu skaistuma izjūtas; krāsu bagātā pasaule kļūst vēl spilgtāka, un uz tās fona ir vēl manāmākas atsevišķas dabas parādības.

M. Minnārts

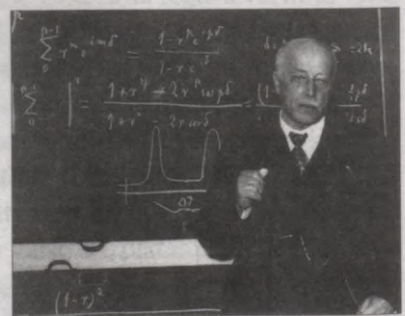
4. OPTIKA DABĀ, ZINĀTNĒ UN TEHNIKĀ

4. 1. Eksperimentālās spektroskopijas sasniegumi

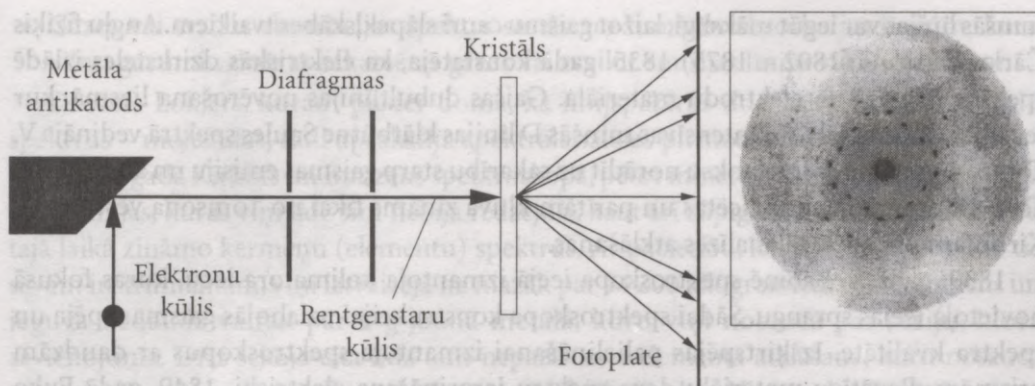
Atskats uz vēsturi. Līdz 20. gadsimta vidum atkarībā no optisko parādību skaidrojuma optika bija sazarojusies ģeometriskajā jeb staru optikā, viļņu un kvantu optikā. Kā patstāvīga nozare bija izveidojusies tehniskā optika, kas nodarbojas ar optisko instrumentu aprēķiniem un to konstrukcijas izstrādēm, kā arī spektroskopija, kura plaši tika izmantota spektrālanalizē, gāzizlādes pētījumos un astrofizikā. Uzskata, ka spektroskopija ir radusies 1666. gadā, kad Ņūtons veica savus eksperimentus ar prizmu un novēroja baltās gaismas sadalīšanu krāsu gaismā. Taču vajadzēja paiet 200 gadiem, lai spektroskopija kļūtu par svarīgu fizikālu metodi pētījumu veikšanai, un vēl 50 gadiem, lai tiktu izprasti spektri.

Arnolds Zommerfelds sava klasiskā darba “Atomu uzbūve un spektri” pirmā izdevuma priekšvārdā 1919. gadā rakstīja: “Kopš spektrālanalīzes atklāšanas brīža neviens speciālists nešaubījās, ka atoma uzbūves problēma tiks atrisināta, ja iemācīsimies saprast spektru valodu. Milzīgais materiāls, kas sakrājies spektroskopijas praktikas 60 gados, sākumā šķita pilnīgi haotisks, kas nepakļaujas sistematizācijai savas daudzveidības dēļ. Lielu ieguldījumu šā uzdevuma risināšanā deva rentgenspektroskopijas attīstības septiņi gadi, jo šajā laikā radās iespēja ieskatīties atoma iekšējā uzbūvē. Tas, ko mēs šodien dzirdam spektra valodā, ir īsta atoma simfonija, veselu skaitļu attiecību harmonija, nepārtraukti pilnveidotas kārtības un harmonijas iemiesojums visā parādību daudzveidībā. Visos laikos spektrālīniju teorija nesīs Bora vārdu. Taču ar šo teoriju vienmēr būs saistīts arī cits vārds – Planka vārds. Visi spektrālīniju un atomistikas veselu skaitļu likumi izriet no kvantu teorijas. Tās ir noslēpumainās ērģeles, uz kurām daba spēlē spektrālo mūziku atbilstoši ritmam, ko nosaka atomu un kodolu uzbūve.”

Ar rentgenspektroskopijas attīstības septiņiem gadiem Zommerfelds domāja laika periodu kopš 1912. gada, kad vācu fiziķis Makss Laue (1879 – 1960) paredzēja rentgenstaru difrakciju kristālos. Ja atomi kristālos ir izvietoti periodiski, tad kristālus var izmantot par rentgenstaru difrakcijas režģiem. Laues paredzējumu šajā pašā gadā eksperimentāli realizēja viņa tautieši Valters Frīdrihs (1883 – 1968) un Pauls Knipings (1883 – 1936).



Makss Laue
(1879 – 1960)



X-staru difrakcija kristālā (pa kreisi) un iegūtā lauegramma (pa labi)

Atcerēsimies dažus ar spektroskopiju saistītus vēstures faktus. Ilgu laiku pēc Ņūtona nekādi jauni atklājumi netika veikti. Tikai 1802. gadā Volastons atkārtoja Ņūtona gaismas spektrālās sadalīšanas eksperimentu, izmantojot šauru ieejas spraugu. Tā varēja izdalīt šaurus spektra rajonus. Šo gadu uzskata par spektrālaparāta rašanās laiku. Uzlabojums Volastonam ļāva novērot Saules spektrā četras tumšas līnijas, kuras viņš interpretēja kā sarkanās, dzeltenzaļās, debeszilās un violetās krāsas robežas.

Vēlāk, 1814. – 1815. gadā, spektroskopijai pievērsās J. Fraunhofers, kuru veikt spektrālus pētījumus pavadināja grūtības, kas radās ahromatisku objektīvu izgatavošanā. Prakse parādīja, ka objektīvu ahromatisko īpašību uzlabošanai nepieciešama rūpīga dispersijas izpēte. Šādā nolūkā Fraunhofers sāka mērīt spektra platumu, ko ieguva ar dažādu stikla šķirņu prizmām. Eksperimentos viņš pārliecinājās, ka nosacītā spektra krāsu gradācija, ko izmantoja Ņūtons, neļauj iegūt noteiktus kvantitatīvus rezultātus. Tam par iemeslu bija spektra nepārtrauktais raksturs, kur viena krāsa pakāpeniski pāriet otrā. Tāpēc bija grūti orientēties uz noteiktu spektra vietu. Fraunhofers ievēroja, ka spirta lampiņas liesmā, ja tajā ievada nedaudz sāli, parādās asi izdalīta gaiša līnija spektra dzeltenajā daļā. Šo līniju viņš izmantoja spektra dažādo daļu izvietojuma noteikšanai un dispersijas mērīšanai. Fraunhofers konstatēja, ka dzeltenās līnijas stāvoklis nātrija spektrā sakrīt ar tumšās D līnijas stāvokli Saules spektrā. Gaišas līnijas viņš novēroja arī dzirksteles spektrā, taču nepievērsa tām sevišķu uzmanību. Fraunhofers izgatavoja difrakcijas režģus, kuru periods bija 0,0001223 collas. Ar šiem režģiem iegva platus difrakcijas spektrus, kuros varēja izmērīt atsevišķu līniju viļņu garumus. Fraunhofers uzlaboja spektru novērošanas procedūru. Viņš spektru neprojiēcēja uz ekrāna, bet gan novēroja to tālskatī. Tas ļāva veikt precīzus viļņu garumu mērījumus.

Fraunhofera uzsākto darbu turpināja Dž. Heršels, V. Talbots, D. Brūsters un citi. Heršels novērojums, kas publicēti 1822. – 1829. gadā, aprakstīja spektrus, kuri iegūti dažādās liesmās. Talbots 1834. gadā norādīja, ka spektri liesmām, kurās ievadīts litījs un stroncijs, viens no otra atšķiras. Talbots secināja: "Tāpēc es nesvārstoties apgalvoju, ka optiskā analīze dod iespēju atšķirt šo vielu mazus daudzumus ar tādu pašu precizitāti kā jebkurš no zināmiem paņēmieniem." Brūsters 1832. gadā pierādīja, ka Fraunhofera

tumšās līnijas var iegūt mākslīgi, laižot gaismu cauri slāpekļskābes tvaikiem. Angļu fiziķis Čārlzs Vitstons (1802 – 1875) 1835. gadā konstatēja, ka elektriskās dzirksteles izlādē spektrs atkarīgs no elektrodu materiāla. Gaišas dubultlīnijas novērošana liesmā, kur ievadīta vārāmā sāls, un intensīvas tumšās D līnijas klātbūtne Saules spektrā vedināja V. Tomsonu sarunā ar Dž. Stoksu norādīt uz sakarību starp gaismas emisiju un absorbciju. Taču šīs domas nav publicētas un par tām kļuva zināms tikai no Tomsona vēstules G. Kirhofam pēc spektrālnalīzes atklāšanas.

1839. gadā Ž. Babinē spektroskopa ieejā izmantoja kolimatora lēcu, kuras fokusā novietoja ieejas spraugu. Šādai spektroskopa konstrukcijai uzlabojās gaismas spēja un spektra kvalitāte. Izšķirtspējas palielināšanai izmantoja spektroskopus ar daudzām prizmām. Bagātīgu materiālu deva spektru ierosināšana elektriski. 1849. gadā Fuko atklāja gaišu dubultu līniju elektriskā lokā, kas sakrita ar D līniju. 1855. gadā Angstrēms, pētot metālu spektrus, konstatēja, ka metālu ķīmiskie savienojumi dod tās pašas spektrālīnijas kā tīri metāli. 1857. gadā Jūliuss Plukers (1801 – 1868), strādājot ar izgudrotāja Heinriha Geislera (1815 – 1879) gāzizlādes caurulēm, atklāja, ka elektriskās izlādes spektrs neapšaubāmi raksturo caurulē iepildītās gāzes dabu. Plukers arī atklāja pirmās trīs Balmera sērijas līnijas.

Neraugoties uz šīm norādēm, spektrālnalīzes laiks vēl nebija pienācis. Franču filozofs Ogists Komts (1798 – 1857) rakstīja, ka cilvēcei nav nekādas iespējas uzzināt, no kā sastāv Saule un zvaigznes. Taču pēc nedaudziem gadiem Kirhofs un Bunzens paveica, pēc Komta domām, neiespējamo, atklājot kvalitatīvo spektrālnalīzi. Šis atklājums atstāja dziļu iespaidu uz laikabiedriem, un tam bija milzīga nozīme uzskatu attīstībā par apkārtējo pasauli. Turklāt spektrālnalīzes atklāšana pierādīja zinātnieku savstarpējās sadarbības lielo nozīmi. Sevišķi auglīga tā kļuva, ja tiek apvienots eksperiments un teorija.

Bunzens ievēroja, ka viņa izgudrotā gāzes degļa liesmā vielas pārvēršas tvaikos un tvaiki iekrāso liesmu noteiktā tonī. Varš liesmu iekrāsoja zaļā krāsā, vārāmā sāls – dzeltenā, stroncijs – aveņsarkanā. Sākumā šķita, ka atliek tikai ievadīt vielu degļa liesmā un tad pēc liesmas krāsas noteikt vielas sastāvu. Taču Bunzens drīz vien pārlicinājās, ka dažas atšķirīgas vielas liesmu iekrāso vienādi. Kirhofs ieteica eksperimentā izmantot spektroskopu. Aplūkojot ar aci liesmu, kurā ievadīts litījs vai stroncijs, tā ir vienādā aveņsarkanā krāsā, bet to spektros novēroja atšķirības. Litija gadījumā spektrā redzama spoža aveņkrāsas līnija un tai blakus vāja oranža līnija. Stroncijs dod zilu, divas sarkanas un oranžu līniju.

Šos pētījumus Kirhofs un Bunzens 1860. gadā publicēja savā ievērojamajā darbā “Ķīmiskā analīze ar spektra novērošanas starpniecību”. Reizē ar to dabaspētnieki ieguva jutīgu metodi vielas ķīmiskā sastāva noteikšanai. Dažas šīs metodes idejas jau agrāk minētas Fraunhoferā, Heršela, Talbota, Plukera u. c. zinātnieku darbos. Kirhofa un Bunzena nopelni ir tas, ka viņi pierādīja trīs ļoti svarīgus faktus.

- Sakarsēti cieti un šķidri ķermeņi izstaro nepārtrauktu spektru.
- Sakarsētas gāzes izstaro līnījspektru. Katram elementam neatkarīgi no savienojuma sastāva, kurā tas ietilpst, spektrālīniju raksturs un izvietojums ir stingri noteikts un atšķiras no citu elementu spektra.

- Gāzes vai tvaiku absorbcijas spektrs sastāv no tumšām absorbcijas līnijām, kuru viļņu garumi sakrīt ar sakarsētas gāzes vai tvaiku emisijas līniju viļņu garumiem.

Džozefs Lokjērs, kuram pieder doma, ka līnijaspektrus dod brīvi atomi, bet joslu spektrus – molekulas, šādi aprakstīja spektrālanalīzes pirmos soļus:

“1860. gadā Kirhofs un Bunzens spektroskopā, pētot minerālūdens nogulsnes, atklāja dažas līnijas, kuras viņi līdz šim nebija redzējuši, kaut arī rūpīgi mērija un atzīmēja visu tajā laikā zināmo ķermeņu (elementu) spektrus. Ar pacietību, kāda ir ķīmiķiem, kas tic savam instrumentam, viņi iztvaicēja ne mazāk par 44 200 kilogramiem minerālūdens un ieguva nedaudz vairāk par 1 g jaunā metāla, kuru viņi nosauca par cēziju, hlora savienojuma. Drīz sekoja cita līdz tam nepazīstama elementa atklāšana, kuru nosauca par rubīdiju. Tad sekoja tallija atklāšana, ko izdarīja Krukss. Viņš spektrāli pētīja selēna rūdu, kas iegūta Harcā, un atklāja ļoti raksturīgu smaragdzaļu līniju, kāda līdz tam brīdim vēl nebija novērota. Šī svinam līdzīgā metāla spektrs redzamā daļā satur tikai vienu spilgti zaļu līniju, un Krukss jaunajam elementam deva nosaukumu no grieķu vārda *thallos*, ar ko apzīmē krāšņu jaunas un spēcīgas augu valsts krāsu. Un beidzot spektrālanalīzei mēs esam pateicību parādā arī par ceturto elementa – tā sauktā indija – atklāšanu. Divi vācu ķīmiķi, profesori Reihš un Rihters Freibergā, pētot cinka māneklī, novēroja divas līdz tam nezināmas gaiši zilas spektrālīnijas. Tai pašā laikā viņiem izdevās iegūt jaunu ķermeni tīrā veidā, kaut arī nelielā daudzumā.”

Spektrālanalīzes pirmie 50 gadi vainagojās ar vislielākajiem panākumiem. Pēc tam, kad bija noskaidrots, ka katram ķīmiskajam elementam ir savs spektrs, kurš ir tikpat viennozīmīgs elementa raksturojums kā daktiloskopiskais nospiedums ir konkrēta cilvēka pazīme, sākās sava veida sacensība spektru iegūšanā. Pierādījās ka vājie gaismas stari, kas nonāk pie mums no tālām zvaigznēm un miglājiem pēc tūkstošiem un miljoniem gadu, satur milzīgu informāciju par šim pasaulēm. Šo objektu spektru pētījumi mūs informē ne tikai par sastāvu, bet arī par šo objektu fizikālo stāvokli, temperatūru un kustību.

Vēršot spektroskopu pret Sauli, Kirhofs 1861. gadā veica milzīgu darbu, kas viņam izraisīja gandrīz pilnīgu aklumu. Viņš izveidoja pirmo Saules spektra atlantu. Salīdzinot Saules spektru ar daudzu elementu spektriem, Kirhofs pierādīja, ka Saules hromosfērā ir tādi elementi kā dzelzs, kalcījs, magnijs, nātrijs, niķelis un hroms. Viņš pieļāva arī kobalta, bārija, vara un cinka klātbūtni. To visu Kirhofs veica ar vienkāršu spektroskopu un ierobežotām tā laika eksperimenta iespējām. Tā ieguva pirmo informāciju par Saules sastāvu. Vēlāk tika pētīti zvaigžņu un miglāju spektri. Par jaunu elementu atklāšanu tepat uz Zemes jau stāstīts iepriekš. Vēl var piebilst, ka 19. gadsimta beigās, kad Ramzejs un Relejs atklāja argonu un Ramzejs ar Traversu – arī citas inertās gāzes: neonu, kriptonu un ksenonu, sekoja retzemju elementu atklāšana. P. Lekoks de Buabodrāns, Ž. Mariņaks, E. Demarsē, Ž. Urbēns, P. Klēve u. c., pateicoties spektroskopijai, atklāja 14 elementus retzemju elementu grupā. Ja visiem iepriekš minētajiem pievieno vēl 1923. gadā atklāto hafniju (pēdējo atklāja pēc rentgenspektra), tad spektroskopiski pavisam atklāja 25 elementus.

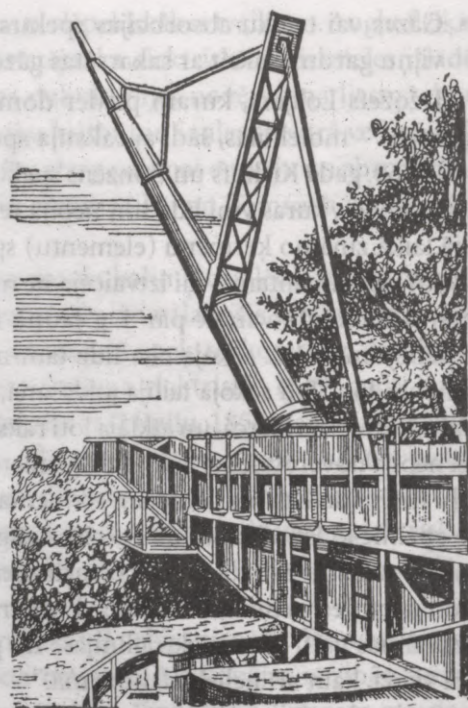
Jau pašā spektrālanalīzes attīstības sākumā bija skaidrs, ka tā ir ļoti jutīga metode, ar kuras palīdzību var atklāt tādus nelielus elementu daudzumus, kas nav pa spēkam

ķīmiskās analīzes metodei. Jau Pirmā pasaules kara sākumperiodā spektrālanalīzi kā ļoti jutīgu un ātru analīzes metodi ķīmiskā sastāva noteikšanai izmantoja daudzos gadījumos, kad nederēja citas metodes. Piemēram, francūzis de Gramons pierādīja, ka sprādzienus Parīzes ielās izraisa "Lielās Bertas" lādiņi, ar kuriem vācieši apšaudīja pilsētu. Apšaušana notika no 120 km attāluma, kas tam laikam bija nepieredzēts gadījums.

1918. gadā, kad franču un angļu aviācijas panākumi pārtrauca vācu gaisa uzlidojumus, vācu armijas štābs izvēlējās citu ceļu, lai apdraudētu Parīzi. Vācu artilēristi nejausi bija atklājuši, ka, šaujot no liela kalibra ieročiem lielā leņķī, lādiņi 20 km vietā nolido 40 km. Izrādījās, ka ar lielu ātrumu stāvus uz augšu izšauts lādiņš sasniedz retinātos atmosfēras slāņus, kur gaisa pretestība ir maza. Šis apsvēruma arī bija vācu generālštāba projekta pamatā. Tika izgatavots milzīgs lielgabals, kurš 1918. gada vasarā raidīja uz Parīzi vairāk nekā 300 lādiņus.

Vēlāk kļuva zināmi šā lielgabala parametri. Tas svēra 750 t. Stobrs bija 34 m garš, un tā sienu biezums lejasdaļā sasniedza 40 cm. Lādiņa svars bija 120 kg, garums 1 m, diametrs 21 cm. Lādiņa izšaušanai izmantoja 150 kg pulvera, tā sākumātrums sasniedza 2000 m/s. Lādiņu izšāva 52° lielā leņķī, un tas sasniedza 40 km augstumu. Parīzi lādiņš sasniedza 3,5 minūtēs, no kurām tas 2 minūtes lidoja stratosfērā.

Eksperimentālās optikas virtuozs amerikāņu fiziķis Roberts Vuds 1891. gadā uzskatāmi demonstrēja, ka studentu ēdnīcā vienā no Amerikas universitātēm studentus baro ar ēdienu, kas pagatavots no iepriekšējā dienā neapēsto bifšteku atliekām. Minētais gadījums notika Džona Hopkina universitātes pansijā, kur uz laiku bija apmeties Vuds. Studentiem bija radušās aizdomas, ka brokastu silto ēdienu gatavo no iepriekšējās dienas pusdienu atliekām. Aizdomām bija pamats, jo siltais gaļas ēdiens brokastīs vienmēr tika piedāvāts, ja iepriekšējā dienā pusdienās bija bifšteks. Vuds šīm aizdomām sagādāja pierādījumu atjautīgā veidā. Kārtējā ēdienreizē, kad tika pasniegts bifšteks, Vuds savā šķīvī atstāja dažus ar litija hlorīdu apkaisītus gaļas gabalus. Litija hlorīds ir nekaitīga viela, kas pēc izskata un garšas līdzīga parastai sālij. Nākamā rītā daļu no brokastīm nogādāja laboratorijā un izanalizēja. Litijs dod raksturīgu sarkanu spektrālīniju. Sadedzinot brokastu paliekas spektroskopa spraugas priekšā, novēroja sarkano litija līniju. Tādā veidā tika atmaskota ēdnīcas saimnieces blēdīšanās.



Parīzes apšaudē izmantotais lielgabals

Sarežģītu atomāro un molekulu spektru pētīšana radīja nepieciešamību pēc lielas dispersijas un augstas izšķirtspējas gaismas spējīgas aparatūras. Šādas aparatūras izveidē lieli nopelni ir arī Robertam Vudam. 1904. gadā Vuds pētīja nātrija tvaiku fluorescenci. Volta loka dotais apgaismojums šim nolūkam nebija pietiekami intensīvs, tādēļ viņš izmantoja Saules gaismu, ko atstaroja heliostats uz monohromatora spraugu. Monohromatora izejas spraugas izdalītā monohromatiskā gaisma apstaroja nātrija tvaikus. Fluorescences reģistrēšanai Vuds izveidoja spektrālaparātu ar trim lielām flintstikla prizmām, kuru malas garums bija 5 collas, un lielas ahromatiskas lēcas.

Nedaudz vēlāk – 1908. gadā – Vuds nopirka vecu fermu Īsthemptonā ar lielu šķūni un tam piegulošu lopu kūti, kur iekārtoja savu vasaras laboratoriju. Viņš uzbūvēja milzīgu spektroskopu, kurš bija lielākais un labākais tā laika spektrālaparāts pasaulē. Vuds pirmais ar šo kameru izšķīra joda spektru, kur varēja saskaitīt ap 40 000 līniju. Par šo spektrālaparātu un Vuda darbību Īsthemptonā savulaik daudz rakstīja. Tas atspoguļojās gan Vuda zinātniskajās publikācijās, gan arī ikdienas presē.

“Daily Eagle” svētdienas numurā 1912. gada 1. septembrī rakstīja: “Ejot pa ceļu, jūs nekad neiedomātos, ka būvē varētu atrasties kas cits, izņemot mājdzīvniekus, līdz pat tam brīdim, kad profesors atver milzīgās durvis un parāda ēkas iekšpusi. Jaunais spektroskops, kuru profesors pilnīgi patstāvīgi uzbūvēja, ir tik vienkāršs, ka nespēciālists nav spējīgs saprast, kā ar tā palīdzību var panākt tik pārsteidzošus rezultātus. Tas sastāv no 42 pēdu garas koka caurules, kuras vienā galā ievietota ahromatiska lēca ar 6 collu lielu diametru un 42 pēdu lielu fokusa attālumu, t. i., visā caurules garumā. No tā paša gala pirms lēcas atrodas difrakcijas režģis, kas gaismu sadala sastāvdaļās. Šis režģis – pulēta metāliska plāksnīte ar rievām, kas iegrieztas ar dimanta griezni, – satur 15 000 rievu uz collu, t. i., 75 000 svītras visā režģī. Režģim ir kvadrāta forma ar 5 collu garu malu.

Caurules otrā galā, kas beidzas tumšā istabā, ir neliela sprauga, bet aiz tās spogulis, uz kura krīt Saules gaisma ar otra spoguļa un lēcas palīdzību. Šis reflektors un lēca darbojas kā heliostats, ko pulksteņa mehānisms pagriež pret Sauli tā, lai atstarotā gaisma vienmēr nokļūtu uz otra spoguļa tumšajā caurulē, kas savukārt vienmēr to atstaro caur spraugu uz ahromatisko lēcu un difrakcijas režģi. Kad gaisma ar režģi sadalīta un atstarojas caurulē atpakaļ, tā nedaudz novirzās uz augšu, tādējādi uz fotoplates, kas novietota virs spraugas, iegūst tās spektra daļas fotogrāfiju, ar kuru profesors strādā. Šā aparāta pārsteidzošā izšķirtspēja nosaka tā pārākumu pār citiem spektroskopiem. Piemēram, mazais laboratorijas spektroskops parāda pazīstamo dzelteno nātrija līniju kā vienu nepārtrauktu līniju, bet jaunajā instrumentā tā pati līnija redzama kā divas atsevišķas, kuras atdala 5 collu liels attālums. Viss spektrs, ko novēro aparātā, ir 50 pēdu garš, bet spektra gatavs fotoattēls, kas palielināts trīs reizes, lai izpētītu atsevišķas līnijas, sasniedz 150 pēdu garumu.”

Ar šo spektrālaparātu atgadījās notikums, par kuru daudz runāja. Pirmajā ziemā un pavasarī pēc spektrālaparāta uzbūvēšanas tajā iemitinājās zirnekļi un saauda savus tīklus. Vēlāk Vuda biogrāfs Viljams Sibruks rakstīja: “Kad Vuds jūnijā atgriezās, viņš ievēroja pārgalvīgo iebrukumu. Viņš noķēra kaķi un iebāza – ne bez pretestības no pēdējā puses – caurules vienā galā, un pēc tam to aizvēra. Kaķis, kuram nebija citas iespējas, rāpās pa tuneli pretī gaismai un izlēca no otra gala, velkot aiz sevis garus tīklus. Pēc tam šausmās

metās pāri žogam, bēgot no tik briesmīgas vietas. Profesors negaidīja, ka šis atgadījums kļūs zināms visā pasaulē, taču starp citu pieminēja rakstā, ko nosūtīja žurnālam "Philosophical Magazine".

Ar šo spektrālaparātu tika veikti daudzi ievērojami Vuda pētījumi. Turpmākos gados instrumentu uzlaboja, un 1924. gadā Vuds ar nelielām skumjām varēja secināt, "ka no mana vecā spektroskopa pāri palikušas tikai četrdesmit pēdas. Tas ir atjaunojies un tam vairs nevajag kaķa pakalpojumu."

Laikā līdz 1913. gadam publicēto darbu skaits spektroskopijā bija lēšams ap 15 000. Neviens nešaubījās, ka vielas spektrs satur bagātu informāciju par pašu vielu. Taču šo informāciju izmantot vēl neprata. Pirmie mēģinājumi šajā virzienā bija spektrālīniju izvietojuma likumsakarību noskaidrošana. Pirmais par to iedomājās īru fiziķis Džordžs Stonejs 1870. gadā. Balmers 1885. gadā atklāja likumsakarības ūdeņraža spektrā. 1890. gadā Ridbergs sārmu metālu spektros atklāja līdzīgas likumsakarības. Viņš konstatēja, ka šo elementu spektrālīniju viļņu skaitļus apraksta sakarība, kas līdzīga Balmera formulai:

$$1/\lambda = R/(n + s)^2 - R/(m + p)^2,$$

kur s un p ir korekcijas, kas raksturīgas katrai sērijai.

Vācu fiziķi H. Kaizers (1853–1940) un K. Runge (1856–1927) fotogrāfiski reģistrēja sārmu un sārmezemju metālu, kā arī tallija un dzīvsudraba spektrus un atklāja daudzu elementu spektru sērijas. 1907. gadā īru fiziķis Arturs Konvejs (1875–1950) izteica hipotēzi, ka atsevišķs atoms emitē tikai vienas frekvences gaismu. Spektrālīniju sērijas rodas, starojot daudziem atomiem. Turpmāk atklāja ūdeņraža atoma spektrālīniju sērijas arī UV un IS spektra daļās. Šie atklājumi bija pretrunā ar klasisko fiziku. Līdz pat 1913. gadam nekas neliecināja, ka šo jautājumu varētu pozitīvi atrisināt. Līniju spektru rašanos nespēja izskaidrot ne Tomsona, ne arī Rezerforda atoma modelis tā sākotnējā variantā. Izeju no strupceļa 1913. gadā atrada Bors, ieviešot diskrēto enerģijas līmeņu jēdzienu, sasaistot tos ar elektronu riņķa orbītām ap kodolu, bet Zommerfelds 1916. gadā pētīja iespēju paplašināt Bora priekšstatus ar vispārīgāku eliptisku orbītu gadījumu.

Lielu ieguldījumu spektru izpētē devis Dmitrijs Roždestvenskis, kurš savu uzmanību veltīja atomiem ar vienu ārējo elektronu – sārmu metālu atomiem. 1919. gadā viņš rakstīja: "1916. gadā vienkāršākā atoma – ūdeņraža atoma – pētīšana ir novesta līdz galam. Pēc Zommerfelda un Pašēna mēs par to līdz pat pēdējai detaļai zinām gandrīz visu, ko nepieciešams zināt. Visas ūdeņraža atoma vienīgā elektrona iespējamās orbītas ir saskaitītas un analizētas līdz pat vissīkākai detaļai. Noteikts domas un eksperimenta cikls ir noslēdzies. Tālāk šīs domas attīstība jāvirza citu atomu pētīšanā."



Karls Runge
(1856 – 1927)



Dmitrijs Roždestvenskis
(1876 – 1940)

Spektru sīkstrukturāras cēloni izdevās atklāt tikai 1925. gadā, un to veica Dž. Ulenbeks un S. Gaudsmits, kas izvirzīja elektrona spina momenta un tam atbilstoša magnētiskā momenta hipotēzi.

Roždestvenska veikumu vislabāk rezumējis viņa skolnieks Sergejs Frišs. Viņš rakstīja: "1919. gada decembrī, atzīmējot Optiskā institūta dibināšanas pirmo gadskārtu, D. Roždestvenskis uzstājās ar ziņojumu "Spektrālanalīze un atoma uzbūve". Ar lielu zinātnisku drosmi un vērību viņš šajā ziņojumā vispārināja Bora teorijas galvenos principus, kas attiecas tikai uz ūdeņraža atomu un uz citiem sarežģītākiem atomiem... Ar apbrīnojamu zinātnisku tālredzību D. Roždestvenskis formulēja galvenās nostādnes, kas ļāva vispārināt teoriju un to attiecināt uz jebkuru atomu spektriem. Lūk, šie pamatpieņēmumi:

- valento elektronu orbītas atomos nosaka spektrālās sērijas,
- sārmu metālu atomu tālās orbītas ir līdzīgas ūdeņraža atoma tālajām orbītām,
- sārmu metālu atomu valences elektrona orbītu skaits ir vienāds ar orbītu skaitu ūdeņraža atomā,
- dubletus un tripletus izraisa atoma iekšējais magnētiskais lauks,
- anomālā Zēmaņa efekta cēlonis arī ir magnētiskā lauka pastāvēšana atomos,
- elementa pirmās kārtas jona spektram jābūt līdzīgam ar neitrāla atoma spektru, kas Mendeļejeva periodiskajā sistēmā atrodas pirms tā.

Daudzas idejas, kuras izteica D. Roždestvenskis, ir fundamentāli atklājumi, kas atrodas spektrālās sistēmātikas pamatā, un tainīgums prasa, lai tās būtu saistītas ar viņa vārdu."

1932. gadā Roždestvenskis atstāja Optiskā institūta direktora amatu, lai nodotos zinātniskajam darbam. Diemžēl pēc neilga laika viņš bija spiests aiziet no institūta vispār. Īsā laikā nomainījās daudzi institūta direktori, un kārtējais no tiem neapstiprināja Roždestvenska izvēlēto zinātniskā darba tēmu – retzemju elementu spektrālie pētījumi. Savu aizliegumu direktors skaidroja šādi. Retzemju elementi, kā izriet no nosaukuma, dabā ir reti sastopami. Bet, ja tā, tad nav vērts tos pētīt, kamēr nebūs līdz galam izpētīti tie elementi, kas dabā biežāk sastopami un ir svarīgāki tautsaimniecībā. Roždestvenskim neatlika nekas cits, ka atstāt paša radīto institūtu un pāriet darbā universitātē. Tam apstāklim, neapšaubāmi, bija sava loma Roždestvenska pāragrajā traģiskajā bojāejā.

Roždestvenska aizsāktās tradīcijas turpināja Pēterburgas zinātnieki. 20. gadsimta 50. un 60. gados aktīvi darbojās Ļeņingradas (Pēterburgas) universitātes spektroskopisti, kuri Sergeja Friša (1899 – 1977) vadībā veica gāzizlādes plazmas spektrālos pētījumus. Universitātes darbinieki pētīja atomu augstākos enerģijas līmeņus, to ierosināšanas mehānismus un ierosināšanas funkciju struktūru, kā arī enerģijas apmaiņas mehānismus starp līmeņiem. 60. gados Olga Bočkova ar līdzstrādniekiem izstrādāja un ieteica spektrālanalīzi izmantot gāzu analīzei, plaši tika izvērsti enerģijas apmaiņas pētījumi gāzu



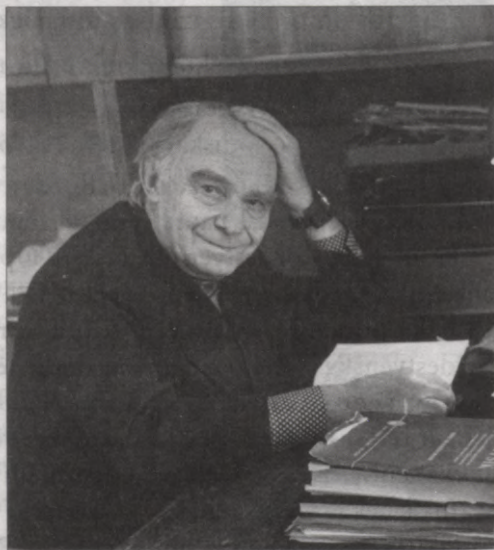
Sergejs Frišs
(1899 – 1977)



Elza Krauliņa (dz. 1920. g.), Māris Jansons (1936 – 1997)

un metālu tvaiku maisījumos. Pateicoties Friša skolnieces profesores Elzas Krauliņas darbībai, šādus pētījumus vēlāk veica arī Latvijas Valsts Universitātē.

Pēckara gados spektrālos pētījumus Latvijas Valsts Universitātē atsāka Jāzeps Eiduss. Samērā īsā laika posmā neliela entuziastu grupa pārtapa plašā laboratorijas kolektīvā ar daudzpusīgu darbības programmu. Laboratorija veica dažādu specialitāšu studentu apmācību, zinātniski pētniecisko darbu un tehnisku palīdzību republikas rūpniecām un organizācijām. Piemēram, Nacionālās operas restaurācijas periodā Spektroskopijas un atomfizikas laboratorijā nonāca līdzšinējo operas lustru paraugi. Arī Kurzemes baznīcu ērģeļu bojāto stabuļu paraugiem spektrālo analīzi veica šajā laboratorijā. Palīdzība ir sniegta arī Melngalvju nama un sienu gleznu restauratoriem. Neizpalika arī visai kuriozi gadījumi. Laikā, kad Latvija ar saviem izstrādājumiem apgādāja plašu PSRS tirgu, tai skaitā arī augsta ranga nomenklatūras darbiniekus, bija radušās aizdomas, ka "Melnais balzams" satur svina piemaisījumus. Rūpīga spektrālanalīze liecināja, ka svina daudzums balzamā nepārsniedza $10^{-4}\%$, t. i., 1 mg/l. Par veselībai nekaitīgu atzīst,



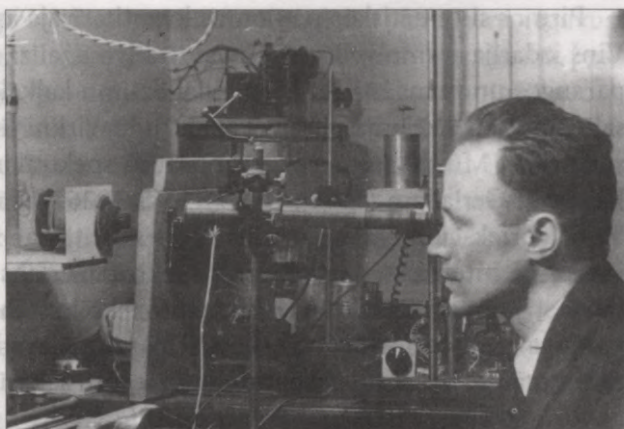
Jāzeps Eiduss (dz. 1916. g.)

ja uzņem ne vairāk par 3 mg svina nedēļā. Tātad nav ieteicams izdzert vairāk par 3 litriem balzama nedēļā! Dabiskā ūdenī svina daudzums var mainīties plašās robežās (no 0,01 līdz 10 mg/l).

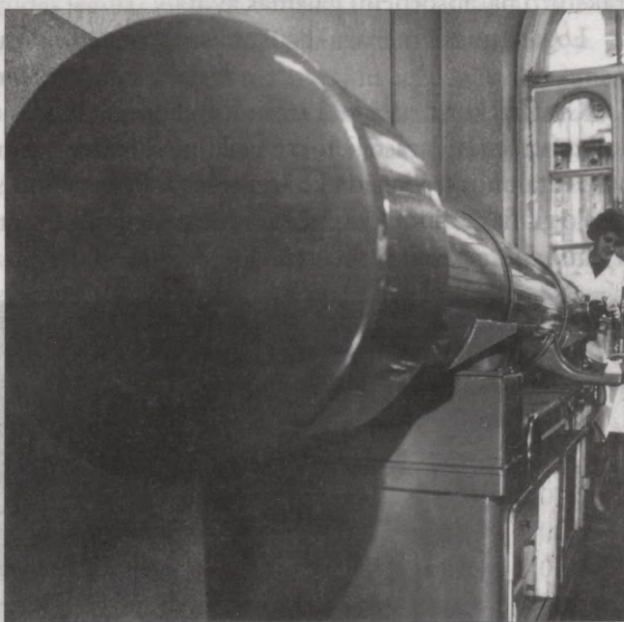
Fizikālās optikas novirzienu Latvijas Valsts Universitātē pārstāvēja docents Ludvigs Jansons (1909 – 1958). Viņa saturīgās un interesantās lekcijas vienmēr bija bagātīgi apmeklētas. Gandrīz visi Latvijas vecākās paaudzes fiziķi ir L. Jansona skolnieki.

Līdz mūsdienām dažādu elementu spektru pētījumiem vēltis vairāk nekā 60 000 darbu. To skaitā ievērojama daļa – lantanīdu, aktinīdu un dažādu elementu augstākas kārtas jonu spektru pētījumiem. Šo darbu nozīmību lielā mērā nosaka astrofizikas, plazmas fizikas un lāzerfizikas attīstība.

Kvantitatīvā spektrālanalīze. Neraugoties uz kvalitatīvās analīzes sekmēm, kvantitatīvā spektrālanalīze 20. gadsimta sākumā vēl tikai tapa. Kvantitatīvajā analīzē izmanto faktu, ka spektrālīniju intensitāte ir atkarīga no elementa koncentrācijas paraugā. To pirmais konstatēja Dž. Lokjērs. Laikā no 1872. līdz 1873. gadam viņš iesniedza Londonas Karaliskajā biedrībā trīs rakstus, kur aplūkoja kvantitatīvās spektrālanalīzes iespējamību. Savā kopējā rakstā ar V. Robertsu Lokjērs aprakstīja pētījumus, kas izdarīti ar vara un zelta, kā arī ar cinka un kadmija kausējumiem. Lokjērs konstatēja, ka "metālu sakausējuma jebkuras komponentes koncentrācijas izmaiņa parasti izraisa līniju rakstura izmaiņu, kas parādās spektrā, t. i., to garumā, spožumā un platumā, tādējādi nezināma parauga komponentu koncentrāciju var aprēķināt, salīdzinot ar zināmas koncentrācijas un sastāva parauga spektru."



Ludvigs Jansons (1909 – 1958)



Darbs LU spektrālanalīzes laboratorijā

Pirmos sistemātiskos pētījumus kvantitatīvajā analizē 1882. gadā veica V. Hartlijs. Viņš izdarīja pirmo veiksmīgo kvantitatīvo analīzi, nosakot berilija daudzumu cerija paraugos un mangāna un kalcija daudzumu kaļķakmenī. Analīzes viņš veica, vizuāli salīdzinot analizējamā parauga spektru ar virkni līdzīga un zināma sastāva paraugu spektriem. Mūsdienu precīzā kvantitatīvā spektrānalīze kļuva iespējama, pateicoties Valteram Gerlaham (1889 – 1979), kurš 1926. gadā ieviesa iekšējā standarta metodi. Visu iepriekšējo analīžu grūtības bija saistītas ar fluktuācijām gaismas avotos, kas izmainīja intensitātes sadalījumu spektrā. Gerlahs atklāja, ka daudzas grūtības var novērst, ja ārējā standarta vietā izmanto iekšējo standartu. Par iekšējo standartu kalpo parauga pamatelements vai speciāli paraugā ievadīta elementa spektrālīnija. Tādā gadījumā var izmantot eksperimentāli iegūtu sakarību:

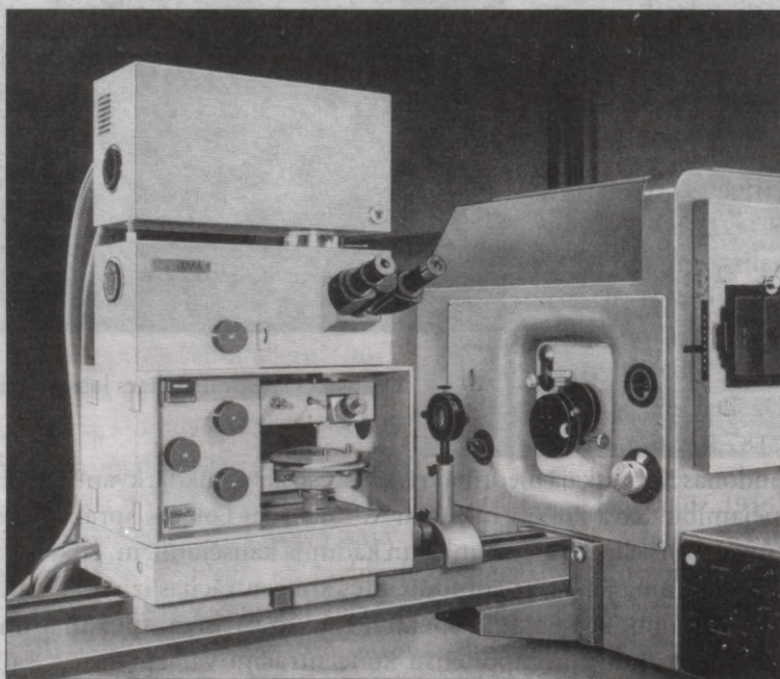
$$I/I_0 = a \cdot c^b,$$

kur I – analizējamā elementa spektrālīnijas intensitāte, I_0 – iekšējā standarta līnijas intensitāte, a – konstante, c – analizējamā elementa koncentrācija, b – lielums, kas raksturo pašabsorbciju gaismas avotā.

Logaritmiskā mērogā iegūst taisnes vienādojumu – graduēšanas grafiku:

$$\lg I/I_0 = \lg a + b \cdot \lg c.$$

Grafika konstruēšanai izmanto etalonus, kuros ir zināmas analizējamo elementu koncentrācijas. Parasti lieto trīs etalonus. Elements, kura līnija kalpo par iekšējo standartu, visos etalonus ir vienādā koncentrācijā. Pēc etalonu spektriem sakarību $\lg I/I_0 = f(\lg c)$ attēlo grafiski. Zinot I_x/I_0 , pēc graduēšanas grafika var noteikt koncentrāciju c_x . Intensitātes I_x un I_0 mēra parauga spektrā.



Mūsdienu spektrāliekārtā

Spektrālanalīze, pateicoties tās precizitātei un minimālam laika patēriņam, ieguvusi plašu atzinību daudzās zinātnes un tehnikas jomās: metalurģijā, mašīnbūvniecībā, pusvadītāju un atomrūpniecībā, ķīmijā, ģeoloģijā, ekoloģijā, bioloģijā, astronomijā u. c.

Pasaulē pirmā ģeoloģiskā ekspedīcija, kas bija apgādāta ar spektrālo aparāturu, tika organizēta 1935. gadā PSRS. Ekspedīcijas mērķis bija alvas iegulu atklāšana. Ekspedīciju ar aparāturu apgādāja Ļeņingradas Valsts optiskais institūts. Ekspedīcijas sekmīgais rezultāts pierādīja spektrālās metodes lietderību. Viena no metodes priekšrocībām ir tā, ka ģeologu sagādātos paraugus tūlīt analizē un atkarībā no analīzes rezultātiem var plānot tālāko darbību. Tagad ģeoloģisko paraugu skaits, kas tiek analizēts derīgo izrakteņu meklēšanas procesā, sniedzas miljonos. Ar vienu spektrālaparātu var izdarīt vairākus simtus analīžu dienā.

Šī metode ir ļoti svarīga derīgu izrakteņu iegulu vietu noskaidrošanā – metalometriskā zondēšanā. Metalometriskās zondēšanas pamatā ir fakts, ka rūdu iegulu apkārtnē eksistē tā sauktais izkliedes oreols. Tas veidojas dažādu procesu iespaidā, kas izpaužas kā elementa migrācija no rūdas iegulas vietas tā daļējas sabrukšanas dēļ. Izkliede notiek visās fāzēs: cietā, šķidrā un gāzveida. Tādu metālu kā zelta, platīna, alvas u. c. izkliedes oreols veidojas cietā fāzē mehāniskas sabrukšanas un iežu pārvietošanās procesā. Minerāli, kas šķīst ūdenī, pakļauti izklidei šķidrums fāzē, veidojot saļu oreolus. Visos gadījumos izklidēto elementu koncentrācijas likumsakarīgi samazinās, attālinoties no iegulas vietas.

Dažādu elementu koncentrācijas izmaiņu sistemātiska izpēte ļauj sastādīt elementu sadalījuma karti un atvieglo iegulas vietas atrašanu. Metalometriskā zondēšanā paraugus ņem no virskārtas vai arī noteiktā dziļumā (10–20 cm). Attālums starp paraugu ņemšanas vietām var mainīties plašās robežās: no dažiem metriem līdz kilometram. Elementu vidējā

Elementa nosaukums	Klarks,%	Analīzes jutība,%	Elementa nosaukums	Klarks,%	Analīzes jutība,%
Silīcijs	27,6	0,001	Litijs	0,065	0,0003
Alumīnijs	8,80	0,001	Cinks	0,005	0,01
Dzelzs	5,00	0,001	Alva	0,003	0,001
Kalcijs	3,60	0,001	Kobalts	0,003	0,001
Nātrijs	2,64	0,0001	Lantāns	0,0018	0,003
Kālijs	2,60	0,001	Svins	0,0016	0,001
Magnijs	2,10	0,0003	Gallijs	0,0015	0,001
Titāns	0,60	0,001	Germānijs	0,0007	0,001
Mangāns	0,09	0,001	Berilijs	0,0006	0,0003
Fosfors	0,08	0,1	Molibdēns	0,0003	0,001
Bārijs	0,05	0,001	Urāns	0,0003	0,01
Rubīdijs	0,03	0,001	Dzīvsudrabs	7×10^{-5}	0,003
Vanādijs	0,015	0,001	Sudrabs	1×10^{-5}	0,0001
Varš	0,01	0,0001	Zelts	5×10^{-7}	0,001
Niķelis	0,008	0,001	Platīns	5×10^{-7}	0,001

koncentrācija augsnēs ir samērā tuva vidējai koncentrācijai Zemes garozā – t. s. klarkiem. Atsevišķos rajonos var būt arī ievērojamas atšķirības. Metalometriskā zondēšana iespējama tad, ja elementa analīzes relatīvā jutība atbilst elementa vidējai koncentrācijai izpētes rajonā, kas parasti ir tuva šā elementa klarkam. Analīzes relatīvo jutību nosaka elementa minimālā koncentrācija paraugā, ko vēl var konstatēt. To izsaka procentos. Analīzes absolūto jutību nosaka vismazākais elementa daudzums, kas nepieciešams analīzei. To izsaka gramos.

Modernā spektrālaparatūra un tās iespējas. 20. gadsimta vidū notika strauja eksperimentālās spektroskopijas attīstība. Tā bagātinājās ar jauna tipa spektrālaparatūriem un modernām mērīšanas metodēm. Sevišķi straujš progress bija novērojams IS spektroskopijā. Kopš 1800. gada, kad Viljams Heršels atklāja IS starus, aparatūra, ko izmanto IS staru pētīšanā, mainījusies līdz nepazīšanai. Heršels izmantoja stikla prizmu un termometru, bet tagad pētnieku rīcībā ir speciālas prizmu sistēmas, moderni difrakcijas režģi, jutīgas reģistrēšanas ierīces un skaitļošanas tehnika. IS aparatūras progresā pamatā bija tādu nozaru attīstība kā elektronika un optisko materiālu izgatavošanas tehnoloģija. Interesanti, ka IS spektrālaparatūras vēsturē laiku pa laikam novēroja atgriešanos pie agrāk izmantotām sistēmām. Tā 20. gadsimta sākumā dažos spektrālaparatūru modeļos izmantoja difrakcijas režģus. Attīstoties labas kvalitātes lielu prizmu izgatavošanas tehnoloģijai, apmēram 30 gadus ilgā laika periodā no difrakcijas režģu izmantošanas atteicās gandrīz pilnīgi. IS spektrometros lietoja daudz prizmu sistēmas, kā arī starus laida cauri prizmām vairākkārt. Tā ieguva lielu dispersiju un izšķirtspēju. Režģi šajā periodā nebija populāri, jo grūtības sagādāja dažādu spektra kārtu atdalīšana. 20. gadsimta 60. gados difrakcijas režģi atkal kļuva populāri, pateicoties jaunu tipu spektrālaparatūru izveidei.

Klasiskiem spektrālaparatūriem, kuriem izmanto ieejas spraugu, ir būtiski trūkumi. Lai mērītu vājas intensitātes, ir jāpalielina ieejas spraugas platums. Tad ievērojami samazinās aparāta izšķirtspēja. Otrs būtisks spektrometru trūkums ir mazs vienlaikus reģistrējamo intervālu skaits. Minētie trūkumi stimulēja 20. gadsimta vidū tādu spektrālaparatūru izveidošanu, kuru darbības pamatā izmantoti citi principi. Atgādināsim, ka klasiskajos aparātos dažādu viļņu garumu atdalīšanai izmanto dispersijas, difrakcijas un interferences parādības. Jaunā tipa spektrālaparatūri ir aparāti ar selektīvu modulāciju un Adamara spektrometri. Tie ir ievērojami sarežģītāki par klasiskajiem aparātiem, un to izmantošana kļuva iespējama, pateicoties skaitļošanas tehnikas attīstībai.

Būtiska spektrālaparatūru pilnveidošana aizsākās 1956. gadā, kad franču fiziķis P. Konne izveidoja sfērisko Fabrī – Pero etalonu, kura izšķirtspēja ($\lambda/\delta\lambda$, kur $\delta\lambda$ – izšķiršanas robeža) sasniedza 10^8 . Plakanā Fabrī – Pero etalona izšķirtspēja ir par kārtu mazāka. Tik lielu izšķirtspēju ar sfērisko etalonu panāk, palielinot interferējošo viļņu ceļu starpības. 1958. gadā ar sfērisko etalonu izdevās iegūt gaismas kūli, kura koherences garums ($\lambda^2/\delta\lambda$) sniedzās simtos metru.

Gadu vēlāk – 1957. gadā – Konne izgudroja spektrometru ar interferences selektīvu amplitūdas modulāciju (SISAM), kuram ir liela gaismas spēja spektra IS daļā. Atšķirībā no klasiskajiem spektrālaparatūriem, kur spektru izvērš telpā, šajos aparātos izmanto atšķirīgu viļņu garumu selektīvu modulāciju. SISAM izveidots pēc Maikelsona interferometra

shēmas, kur spoguļu vietā izmantoti divi vienādi difrakcijas režģi. Režģi sinhroni rotē, kas nodrošina spektra skenēšanu. Bez tam režģis vienā no interferometra zariem pārvietojas ar konstantu ātrumu, kas starojumu modulē. Modulācijas dziļums ir maksimāls tāda viļņu garuma starojumam, kas izplatās autokolimācijas apstākļos, un to var izdalīt un reģistrēt, izmantojot maiņstrāvas pastiprinātāju.

Franču fiziķis Pjērs Žakino (dz. 1910. g.) intensīvi attīstīja Furjē spektroskopiju. Par Furjē spektroskopijas radītāju jāuzskata Maikelsons, uz kura interferometra bāzes radīts Furjē spektrometrs. Pārvietojot spoguļi vienā no interferometra zariem, reģistrē interferences ainu $f(x)$. Tā ir mērāmā spektra Furjē transformācija. Pētāmā objekta spektru iegūst, izdarot iegūtās interferences ainas apgriezto Furjē transformāciju:

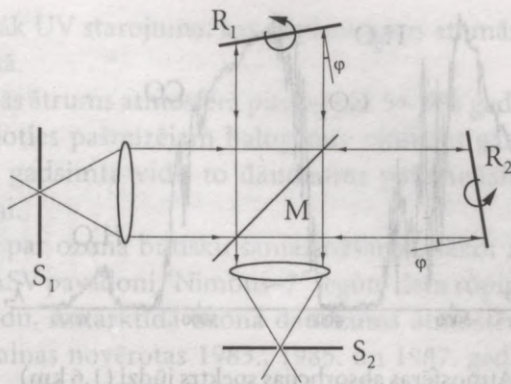
$$l(\nu) = 2 \int_0^{2l} f(x) \cos 2\pi \nu x dx,$$

kur l – kustīgā spoguļa maksimālais pārvietojums.

Maikelsons pilnībā nevarēja izmantot interferometra iespējas, jo tajā laikā vēl nebija pieejama atbilstoša skaitļošanas tehnika. Furjē spektrometra priekšrocības tāpat kā SISAM gadījumā izpaužas galvenokārt spektra IS daļā. Tā gaismas spēja ir apmēram 200 reižu lielāka nekā klasiskajiem aparātiem. Optisko priekšrocību, mazā svara un izmēru dēļ tas ir ērts darbam ārpus laboratorijas. Pateicoties Maikelsona interferometru lielajai gaismas spējai, ar Furjē spektrometru var pētīt pat ļoti vājus starojuma avotus. Piemēram, pēc skursteņu dūmu un dzinēju izplūdes gāzu starojuma var pētīt gaisa piesārņojuma avotus. Tā dūmu spektrā var atklāt CO_2 , SO_2 un citu molekulu, kā arī atomu starojumu.

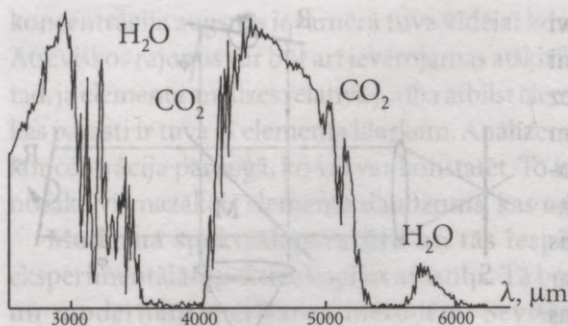
Furjē spektrometrus var ērti izmantot atmosfēras un astronomiskos pētījumos, tos izvietojot Zemes mākslīgajos pavadoņos. Daudzas problēmas, kas saistītas ar Furjē spektroskopijas izmantošanu astronomijā, risinājuši P. Konne Francijā, L. Merca Smitsona observatorijā ASV un R. Hanel kopā ar līdzstrādniekiem Godarda kosmisko lidojumu centrā ASV. Attēlā parādīts atmosfēras absorbcijas spektrs 1,6 km garam optiskajam ceļam. Spektrā ar labu izšķirtspēju redzamas ūdens tvaiku un ogļskābās gāzes absorbcijas līnijas.

Amerikāņu eksperimentālajā meteoroloģiskajā pavadonī "Nimbus-3", kas tulkojumā nozīmē "mākonis", tika izmantots miniatūrs Furjē spektrometrs, kurš svēra tikai 14,5 kg. 1969. gadā spektrometrs strādāja dažus mēnešus, atrazdamies orbītā ap Zemi, un reģistrēja atmosfēras spektru $400 - 2000 \text{ cm}^{-1}$ rajonā.



SISAM shēma.

S_1 un S_2 – ieejas un izejas diafragmas, M – puscaurlaidīgs spogulis, R_1 un R_2 – difrakcijas režģi

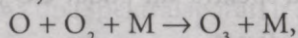


Atmosfēras absorbcijas spektrs jūdži (1,6 km) biežam atmosfēras slānim (pēc firmas "Digilab" datiem)

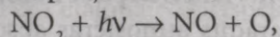
Ar Furjē spektrometru veica atmosfēras sastāva pētījumus, tajā skaitā ozona augstuma sadalījuma mērījumus. Attēlā doti atmosfēras spektra pētījuma rezultāti, kas iegūti no pavadoņa "Nimbus-3". Pēc spektra pieņemtiem var noteikt spiedienu kā temperatūras funkciju, kā arī ozona koncentrācijas atkarību no augstuma. Tāpat var noteikt arī atmosfēras komponentu attiecības.

Ozons veidojas un sabrūk atmosfērā fotoķīmiskās reakcijās, piedaloties daudzu gāzu molekulām un Saules starojuma fotonem. Ozona daudzums atmosfērā ir niecīgs. Normālos apstākļos tas veidotu 3,2 mm biezu slāni. Šāds ozona daudzums ir pilnīgi pietiekams Saules UV starojuma īso viļņu rajona ($\lambda \leq 280$ nm) absorbcijai un vidējā UV starojuma rajona (280 – 315 nm) vājināšanai. Ozona maksimālais blīvums ir 24 – 26 km augstumā tropu zonā un 18 – 20 km augstumā polārajos apgabalos.

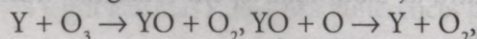
Ozons veidojas ķīmiskā reakcijā:



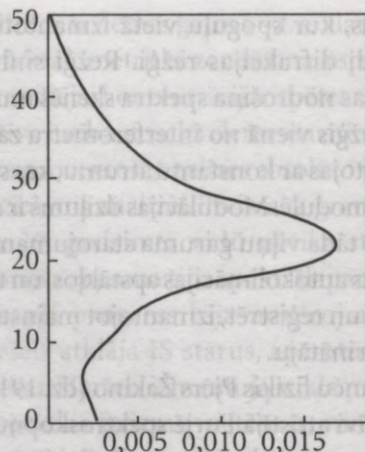
kur M ir atmosfērā ietilpstoša gāzes molekula. Reakcijai nepieciešamais atomārais skābeklis O augstumā virs 20 km veidojas O_2 molekulas fotodisociācijas procesā, ko veicina Saules īsviļņu UV starojums ($\lambda < 240$ nm). Atmosfēras zemākajos slāņos šie fotoni nenokļūst, un šeit notiek slāpekļa dioksīda fotodisociācija:



kur $\lambda < 400$ nm. Ozons sabrūk galvenokārt šādās reakcijās:



kur Y ir NO, OH, Cl, Br un tie izpilda katalizatora lomu. Hlors un broms atmosfērā nokļūst galvenokārt ar freonu un citu halogēnsavienojumu starpniecību kā ķīmiskās rūpniecības produkti. Šis gāzes var samazināt ozona daudzumu stratosfērā (40 km augstumā) vairāk nekā divas reizes. Par nelielu mierinājumu var kalpot tas, ka ozona daudzums atmosfēras slāņos 20 – 30 km augstumā nedaudz palielinās. Tas izskaidrojams



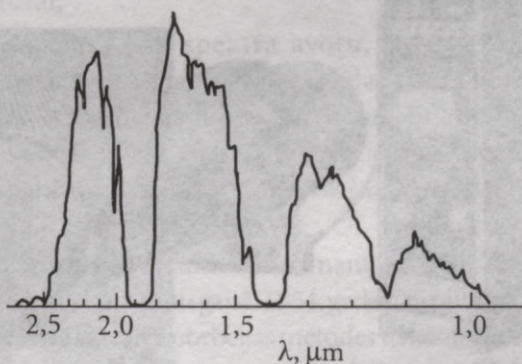
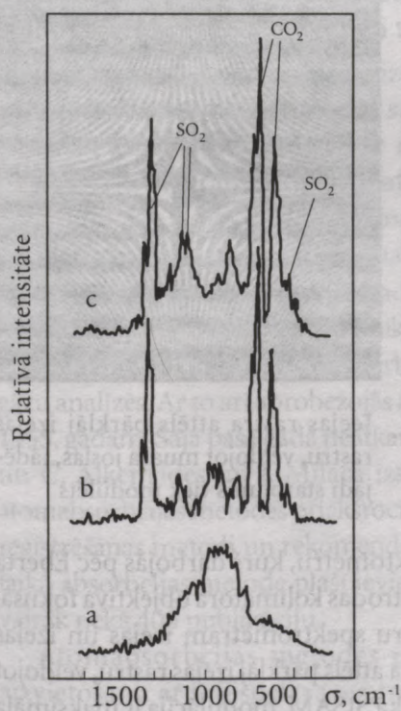
Kopējais ozona daudzums atmosfērā veidotu 3,21 mm slāni normālos spiediena apstākļos. Uz abscisu ass atlikts augstums km, uz ordinātas – ozona daudzums $cm \cdot km^{-1}$. Pavadoņa "Nimbus-3" veiktie atmosfēras starojuma pētījumi ar infrasarkano interferometru (Furjē spektrometru) IRIS 1969. gada 23. aprīlī (Pēc Godarda Kosmisko lidojumu centra Atmosfēras-bioloģijas laboratorijas datiem)

tādējādi, ka līdz šiem slāņiem nonāk vairāk UV starojuma, kas nepieciešams atomārā skābekļa iegūšanai fotodisociācijas procesā.

Minēto halogēnsavienojumu izdalīšanās ātrums atmosfērā pieaug par 5 – 9% gadā. Pēc aprēķiniem var secināt, ka, saglabājoties pašreizējam halogēnu saturošu gāzu izdalīšanās daudzumam atmosfērā, 21. gadsimta vidū to daudzums palielināsies desmitkārt, salīdzinot ar 1950. gada līmeni.

1985. gadā publicēti pirmie ziņojumi par ozona būtisku samazināšanos, sākot ar 1970. gada pavasari Dienvidu puslodē. Ar ASV pavadoni "Nimbus-7" iegūto datu rūpīga analīze apliecināja, ka, sākot ar 1978. gadu, Antarktīdā ozona daudzums atmosfērā samazinās gadu no gada. Jūtāmākās izmaiņas novērotas 1983., 1985. un 1987. gadā. Sevišķi stipras izmaiņas novērotas 1987. gada septembrī, kad ozona daudzums bija tikai puse no 1979. gada līmeņa. Atsevišķās dienās tas samazinājās pat līdz trešdaļai no parastā daudzuma.

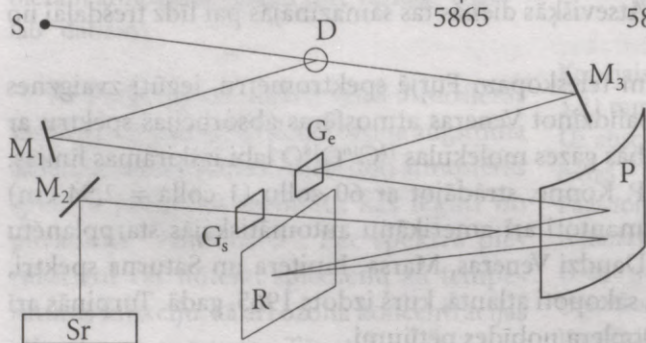
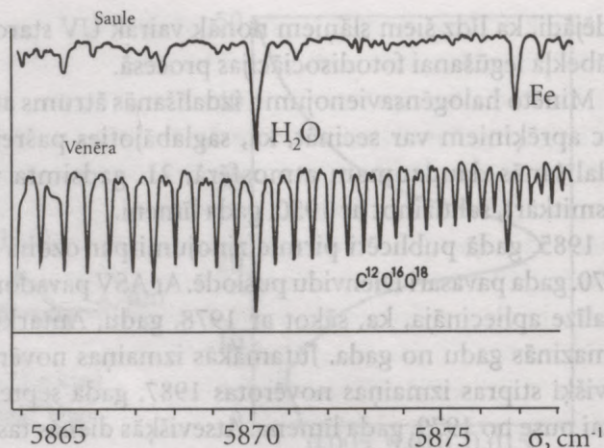
1965. gadā, pievienojot 25 cm teleskopam Furjē spektrometru, iegūti zvaigznes Betelgeizes un planētu spektri. Salīdzinot Veneras atmosfēras absorbcijas spektru ar Saules spektru, var atdalīt ogļskābās gāzes molekulas $^{12}\text{C}^{16}\text{O}^{18}\text{O}$ labi izšķiramas līnijas. Tik lielu izšķirtspēju sasniedza P. Konne, strādājot ar 60 collu (1 colla = 2,54 cm) teleskopu. Furjē spektrometri izmantoti arī amerikāņu automātiskajās starpplanētu stacijās "Viking" Marsa izpētei. Daudzi Veneras, Marsa, Jupitera un Saturna spektri, kas iegūti ar Furjē spektrometru, sakopoti atlantā, kurš izdots 1965. gadā. Turpinās arī tālu kosmisko objektu spektru Doplera nobīdes pētījumi.



Betelgeizes spektrs, kas iegūts 1965. gada 3. martā ar 25 cm teleskopu

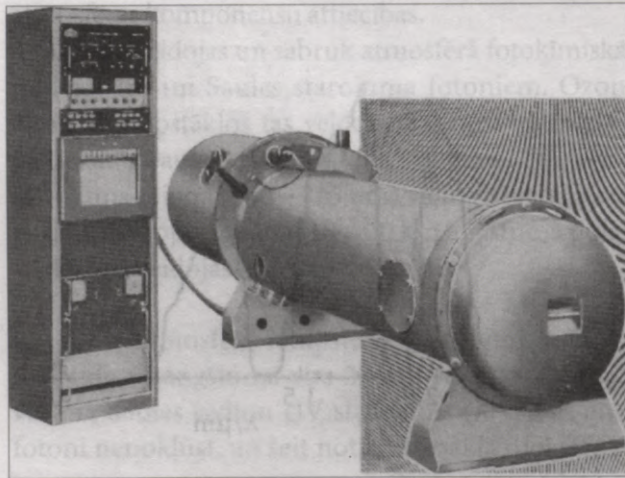
Dūmu IS emisijas spektri (firmas "Digilab" dati).
 a – debesjuma spektrs blakus dūmu strūklai,
 b – spektrs dūmu strūklai uz debess fona,
 c – dūmu emisijas spektrs

Veneras spektra fragments, augšpusē parādīts Saules spektrs (Pēc Konnes pētījumu datiem)

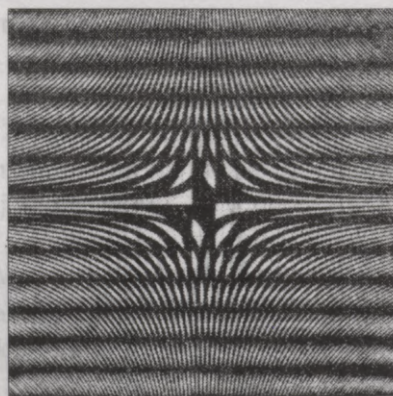


Žirāra rastru spektrometrs veidots pēc Eberta difrakcijas spektrometra shēmas.

S – gaismas avots, M_{1-3} – spoguļi, D – modulators, P – parabolisks spogulis, R – difrakcijas režģis, G – rastrī, Sr – signāla reģistrēšana



Žirāra rastru spektrometrs



Ieejas rastra attēls pārklāj izejas rastru, veidojot muara joslas, tādējādi starojums tiek modulēts

1963. gadā A. Žirārs Francijā izgudroja rastru spektrometru, kurš darbojās pēc Eberta difrakcijas spektrometra shēmas, kurā ieejas sprauga atrodas kolimatora objektīva fokusā, bet izejas sprauga – kameras objektīva fokusā. Rastru spektrometram ieejas un izejas spraugu vietā izmantots hiperbolisks rastrs. Ieejas rastra attēls pārklāj izejas rastru, veidojot muara joslas, tādējādi starojums tiek modulēts. Līdzīgi kā SISAM, modulācija ir maksimāla

staram autokolimācijas apstākļos. Rastra izmēri var būt 30 mm · 30 mm, kas daudzkārt pārsniedz spraugas izmērus. Tādējādi gaismas spēja palielinās apmēram 300 reizi.

1969. gadā jau plašo spektrometru klāstu papildināja ar Adamara spektrometru. Adamara spektroskopijā izmanto parastu difrakcijas režģa spektrometru, kura fokālajā plaknē novietota diafragma ar vertikālām spraugām. Spektrometra nosaukums saistīts ar spraugu izvietojumu un stāvokļa maiņu, ko apraksta ar Adamara matricām. Spraugu izmēri ir $k\delta\lambda$, kur k ir neliels vesels skaitlis, $\delta\lambda$ – izšķiršanas robeža. Ja caurlaidīgo joslu skaits ir N , bet necaurlaidīgo – $(N-1)$, tad, pārvietojot diafragmu spektra dispersijas virzienā $(N-1)$ reizes un mērot visu caurizgājušo gaismas plūsmu, var sastādīt N lineāru vienādojumu sistēmu, kuru risina ar ESM palīdzību. Lai samazinātu reģistrētāja trokšņus, kas ir proporcionāli uztvērēja virsmas laukumam, ar speciālu disperģējošu sistēmu spektru savāc ahromatiskā spraugas attēlā.

70 gadu laikā kopš 1928. gada kombinatīvās izkliedes (KI) spektroskopija ieņēmusi svarīgu vietu starp citām vielas sastāva un uzbūves pētīšanas metodēm. Būtisku uzplaukumu KI spektroskopija guva ar gaismas spējīgu spektrālaparātu un lāzeru izmantošanu. Atšķirībā no IS spektroskopijas KI spektroskopijā var strādāt ērtākajā spektra redzamajā daļā, kā arī to izmantot bezkontakta pētīšanas metodē. Pēdējā ir ļoti ērta vides piesārņojuma avotu atklāšanā un kontrolē. Šajā gadījumā dūmeņa, dzinēja vai kāda cita potenciāla piesārņojuma avota izplūdes gāzes apstaro ar lāzerstaru. Atliek uztvert un analizēt gaismu, kas rodas kombinatīvajā izklienē.

Līdz pat nesenaī pagātnei pēc absorbcijas spektriem veica tikai molekulu analīzi. Absorbcijas metodes izmantošanu atomu analīzē kavēja divi apstākļi:

- lai iegūtu pietiekamu absorbējošo atomu skaitu, analizējamais paraugs ir jāsilina līdz apmēram 2000 K augstai temperatūrai,
- ja objekta caurstarošanai izmanto nepārtraukta spektra avotu, tad spektra reģistrēšanai nepieciešams samērā augstas izšķirtspējas spektrālaparāts, kura izdalītais spektra intervāls ir mazāks par absorbcijas līnijas platumu. Ap 2000 K augstā temperatūrā līniju platumu nosaka Doplera efekts. Elementiem ar vidēju atommasu tas ir 0,002 nm. Izmantojot aparātu, kuri nespēj izdalīt tik šauru spektrālo intervālu, stipri samazinās analīzes jutība.

20. gadsimta četrdesmitajos gados atomabsorbcijas metodi sāka izmantot analītiskajā ķīmijā, lai noteiktu dzīvsudraba tvaiku klātbūtni un daudzumu gaisā. 1954. gadā tika publicēts Friša skolnieces Olgas Bočkovas darbs, kas bija veltīts atomabsorbcijas metodes izmantošanai gāzu analīzēs. Ar to arī aprobežojās atomabsorbcijas metodes izmantošana laika posmā līdz 1955. gadam. Šajā pašā gadā neatkarīgi viens no otra tika publicēti A. Volša darbs Austrālijā un C. Alkemades un J. Milaca izstrādātais darbs Holandē, kuros bija parādītas dažas atomabsorbcijas metodes priekšrocības, salīdzinot ar emisijas metodi. Volšs ieteica racionālu reģistrēšanas metodi un rekomendēja iekārtas shēmu analīžu veikšanai. Nākamo 10 gadu laikā absorbcijas metode plaši ieviesās atomu analīzē un par šo jautājumu tika uzrakstīts vairāk nekā 400 publikāciju.

Atomabsorbcijas metodes panākumi saistīti ar nepārtrauktā spektra avota aizvietošanu ar līnījspektra avotu, izmantojot nosakāmo elementu rezonanses līnijas.

Rezonanses līniju savājināšanās pakāpe, ejot cauri absorbējošo atomu mākonim, nav atkarīga no spektrālaparāta izšķirtspējas. Spektrālaparāta uzdevums šajā gadījumā ir tikai rezonanses līnijas atdalīšana no pārējām līnijām.

Jā uz viendabīgu absorbējošu atomu slāni, kura biezums ir l , krīt monohromatisks starojums F_0 , tad caurizgājušās gaismas plūsma ir:

$$F_l = F_0 \exp(-kNl),$$

kur k ir absorbcijas rādītājs, bet N absorbējošo atomu skaits, kas proporcionāls dotā elementa koncentrācijai paraugā c . Logaritmējot šo izteiksmi, iegūst taisnes vienādojumu, kas apraksta graduēšanas grafiku:

$$\lg(F_0/F_l) = \text{const} \cdot c \cdot l.$$

Tā kā graduēšanas grafiks iet caur koordinātu sākumpunktu, tad tā konstruēšanai un analīzes veikšanai ir nepieciešams viens etalons ar zināmu koncentrāciju. Atomabsorbcijas analīzes priekšrocība, salīdzinot ar emisijas metodi, ir augstāka jutība. Daudzos gadījumos tā ir izdevīga, lai risinātu izotopu analīzes uzdevumus. Grūtības rodas to elementu analīzē, kuru rezonanses līnijas atrodas analīzēm neērtā UV rajonā.

Atomabsorbcijas metodi izmanto gāzu analīzē, izotopiskā sastāva noteikšanā, oscilatoru stipruma un difūzijas koeficienta mērīšanā. Atomabsorbcijas metode nodrošina augstu analīzes absolūto jutību (10^{-9} – 10^{-12} g), kas ir ievērojami labāka par atomemisijas analīzes jutību (10^{-7} – 10^{-9} g).

Elementa nosaukums	Relatīvā jutība, %		Absolūtā jutība, g	
	absorbcijā	emisijā	absorbcijā	emisijā
Sudrabs	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-5}$	–	$1 \cdot 10^{-8}$
Zelts	$3 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$	–	$2 \cdot 10^{-9}$
Bārijs	$8 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-7}$
Kalcijs	$8 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-5}$	–	$1 \cdot 10^{-8}$
Hroms	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-9}$
Cēzijs	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-8}$
Kālijs	$3 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Litijs	$3 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-11}$	$2 \cdot 10^{-10}$
Mangāns	$5 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-12}$	$2 \cdot 10^{-9}$
Svins	$5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-8}$
Stroncijs	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-11}$	$5 \cdot 10^{-8}$

Pateicoties augstas izšķirtspējas spektroskopijas attīstībai un rūpīgiem spektrālīniju kontūras mērījumiem, radās iespēja precizēt garuma mērvienības etalonu. XI Mēru un svaru ģenerālā konference, kas notika 1960. gada oktobrī, pieņēma jaunu garuma mērvienības definīciju, nosakot, ka metrs ir vienlīdzīgs $^{86}\text{Kr}_{36}$ izotopa 1 650 763,73 oranžās spektrālīnijas garumiem. Šī līnija rodas pārejā starp 2p un 5d līmeņiem, un tās viļņa garums, pēc definīcijas, ir 605,78021 nm. Šo mērvienības definīciju pieņēma pēc rūpīgiem dažādu elementu spektrālīniju pētījumiem. Minētajai kriptonu līnijai ir šaura un simetriska kontūra, kas atļāva precīzi noteikt tās viļņu garumu.

4. 2. Elementu periodiskās sistēmas izveide

Līdz mūsu ēras sākumam cilvēki pazina deviņus elementus. No tiem divi – ogleklis un sērs – bija nemetāli, pārējie septiņi – metāli: dzelzs, varš, sudrabs, alva, zelts, dzīvsudrabs un svins. Līdz pat viduslaikiem jauni elementi netika atklāti. Alķīmiķi no 12. līdz 14. gadsimtam atklāja trīs jaunus elementus: arsēnu, antimonu un bismutu. Pēc šo trīs elementu atklāšanas līdz 17. gadsimtam netika iegūti jauni elementi, izņemot platīnu, ko 16. gadsimta vidū atklāja Meksikā. 17. gadsimta beigās tirā veidā ieguva cinku. Par šiem 14 elementiem nav ziņu, kas tos atklājis, kā arī nav zināms precīzs atklāšanas laiks. 17. un 18. gadsimtā zinātnē sāka veidoties tradīcijas, un tāpēc pārējo elementu atklāšana ir datēta.

Ķīmisko elementu atklāšanas secība. Pirmais no šiem elementiem, kuram zināms atklājējs, bija fosfors. To 1669. gadā, meklējot filozofisko akmeni, atklāja Hamburgas alķīmiķis un tirgotājs Henīgs Brands. Nosaukums “fosfors” nozīmē gaismas nesējs.

Nākamo 1737. gadā atklāja kobaltu (G. Brants, Zviedrija) un pēc 14 gadiem – niķeli (A. Kronstets, Zviedrija). 1766. gadā angļu fiziķis un ķīmiķis Henrijs Kavendišs (1731 – 1810) pētīja gāzi, kas izdalās, ja metāla gabalu ieliek skābes šķīdumā. Vēlāk noskaidrojās, ka sadegot šī gāze veido ūdeni. Tādēļ to nosauca par ūdeņradi. 18. gadsimta septiņdesmitajos gados skotu ķīmiķis, botāniķis un ārsts Daniels Rezerfords (1749 – 1819) atklāja, ka degšanas procesā tiek izmantota tikai daļa no gaisa tilpuma. Pārpalikums neuztur degšanu un tajā nevar pastāvēt dzīvi organismi. Danielu Rezerfordu var uzskatīt par slāpekļa atklājēju.

1774. gadā angļu filozofs un ķīmiķis Džozefs Prīstlijs (1733 – 1804) ar lēcu fokusēja Saules gaismu uz sarkanu pulveri – dzīvsudraba oksīdu – un novēroja gāzes izdalīšanos. Iegūtā gāze uzturēja degšanu, tā izrādījās skābeklis. Zviedru ķīmiķis Karls Šēle (1742 – 1786) līdzīgus eksperimentus veica nedaudz agrāk, taču savus pētījumu rezultātus savlaikus npublicēja.



P. Kalles gravīra pēc flāmu mākslinieka Pītera Brēgela (Pieter Bruegel) zīmējuma “Alķīmiķis”



Daniels Rezerfords
(1749 – 1819)



Džozefs Prīstlijs
(1733 – 1804)



Džeimsa Gilreja karikatūra (1802) "Jaunie atklājumi pneimatikā!".

Centrā Tomass Jungs darbojas ar jautrības gāzi (N_2O), blakus ar plēšām rokās – Hemfrijs Dēvi, labajā stūrī nostājies Rumfords. Jautrības gāze bija iecienīta lekciju demonstrējumos

18. gadsimta septiņdesmitajos gados bija pazīstami 20 ķīmiski elementi. Nākamajos 25 gados tika atklāti vēl 11 jauni elementi: hlors, mangāns, molibdēns, telūrs, volframs, titāns, cirkonijs, urāns, itrijs, hroms un berilijs. Četrus no tiem (Cl, Mn, Mo, W) atklāja Šēle.

1807. gadā Hemfrijs Dēvi eksperimentēja ar vielu, ko mēs tagad pazīstam kā kālija hidroksīdu. Dēvi atklāja, ka, šo vielu izkausējot un laižot tai cauri elektrisko strāvu, var iegūt jaunu ķīmisku elementu kāliju. Pēc dažām dienām, atkārtojot eksperimentu ar nātrija hidroksīdu, Dēvi atklāja arī nātriju. Nākamajā gadā viņš tīrā veidā ieguva vēl četrus elementus (Mg, Ca, Sr, Ba). Turpmākajos gados daudzu valstu zinātnieki iesaistījās jaunu elementu atklāšanā, un zināmo elementu skaits gandrīz dubultojās. Laikā starp 1800. un 1869. gadu tika atklāts vanādijs, niobijs, tantals, cērijs, palādijs, rodijs, irīdijs, osmijs, kālijs, nātrijs, bors, magnijs, kalcijs, stroncijs, bārijs, jods, litiji, kadmijs, selēns, silīcijs, broms, alumīnijs, torijs, lantāns, erbijs, terbijs, rutēnijs, cēzijs, tallijs, rubīdijs, indijs un hēlijs. Hēliju atklāja tikai Saules spektrā.



Karls Šēle
(1742 – 1786)

Tādā veidā līdz 1869. gadam bija atklāti 63 ķīmiskie elementi. Vācu ķīmiķis Lotārs Meijers (1830 – 1895) un neatkarīgi Dmitrijs Mendelejevs sakārtoja elementus pēc to atomsvariem. Tad varēja konstatēt, ka elementu ķīmiskās īpašības periodiski atkārtojas. Mendelejevs novēroja, ka, grupējot elementus ar vienādām īpašībām, paliek dažas tukšas vietas. Trim neatklātiem elementiem jābūt līdzīgiem boram, alumīnijam un silīcijam. Mendelejevs šos elementus nosauca par ekaboru, ekaalumīniju un ekasilīciju.

Spektroskopijas loma ķīmisko elementu atklāšanā. Turpmākā vēl nepazīstamu elementu atklāšanā liela nozīme bija spektroskopijai. Kopš 1860. gada, kad Kirhofs un Bunzens formulēja spektrālanalīzes principus, spektroskops bija kļuvis par zinātnisko pētījumu laboratoriju neaizstājamu instrumentu, kas ļāva nekļūdīgi noteikt dažādu objektu sastāvu. 1875. gadā – dažus gadus pēc Mendelejeva pareģojuma – franču ķīmiķis Lekoks de Buabodrāns, pētot ar spektroskopu cinka rūdu, atklāja Mendelejeva paredzēto ekaalumīniju. Par godu Francijai viņš to nosauca tās senajā vārdā par galliju. Ekaboru 1879. gadā atklāja zviedru ķīmiķis Larss Nilsons (1840 – 1899), kurš tam deva skandija vārdu par godu savai dzimtenei Skandināvijai. Pēdējo no Mendelejeva paredzētajiem elementiem – ekasilīciju 1886. gadā atklāja vācu ķīmiķis Klemenss Aleksandrs Vinklers (1838 – 1904) un nosauca to par germāniju.

Visu trīs elementu īpašības pārsteidzoši sakrita ar tām īpašībām, ko paredzēja Mendelejevs. Tas neapšaubāmi cēla Mendelejeva sistēmas autoritāti. Mendelejeva veiktā darba nozīmību grūti pārvērtēt. Mendelejeva palīgs un vēlākais Pēterburgas Galvenās mēru un svaru palātas sekretārs M. Mladencevs rakstīja: “Daudzas reizes manā klātbūtnē Dmitrijam Ivanovičam jautāja, kā viņš atklāja periodisko likumu, un, uzdodot šo jautājumu, norādīja Dmitrijam Ivanovičam, ka viņš ir ģēnijs. Dmitrijs Ivanovičs gandrīz vienmēr dusmojās un teica: “Nu kāds gan es ģēnijs. Strādāju, strādāju, visu dzīvi strādāju. Meklēju un atradu.””

Taču Mendelejeva izstrādātajā sistēmā īsti neiederējās ūdeņradis, kuru Mendelejevs savas sistēmas pirmajos variantos novietoja malā. Jau 1869. gadā pirmajā ziņojumā par periodiskā likuma atklāšanu Mendelejevs rakstīja: “Ja var izteikt vēlējumu, skatoties uz pievienoto tabulu, tad tieši visvēlamāk man šķiet papildināt elementu skaitu, kas atrodas tuvāk ūdeņradim. Tie elementi, kas pārstāv pāreju no ūdeņraža uz boru un oglekli, protams, veido vissvarīgāko zinātnisko ieguvumu, kādu vien var sagaidīt, iepazīstoties ar no jauna atklājamām vienkāršām vielām.”

Grūtības izraisīja arī 1894. gadā atklātais argons. Tas bija izteikti “nelūgts viesis” ķīmisko elementu saimē. Tajā laikā elementu periodiskajā sistēmā visas vietas bija aizņemtas. Veidojot periodisko sistēmu, Mendelejevs ievēroja faktus, ko šajā laikā bija



Lotārs Meijers
(1830 – 1895)



Dmitrijs Mendelejevs
(1834 – 1907)

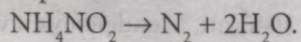
			Ti=50	Zr=90	?=180
			V=51	Nb=94	Ta=182
			Cr=52	Mo=96	W=186
			Mn=55	Rh=104,4	Pt=197,4
			Fe=56	Ru=104,4	Ir=198
			Ni=Co=59	Pd=106,6	Os=199
H=1			Cu=63,4	Ag=108	Hg=200
	Be=9,4	Mg=24	Zn=65,2	Cd=112	
	B=11	Al=27,4	?=68	Ur=116	Au=197?
	C=12	Si=28	?=70	Sn=118	
	N=14	P=31	As=75	Sb=122	Bi=210?
	O=16	S=32	Se=79,4	Te=128?	
	F=19	Cl=35,5	Br=80	J=127	
Li=7	Na=23	K=39	Rb=85,4	Cs=133	Tl=204
		Ca=40	Sr=87,6	Ba=137	Pb=207
		?=45	Ce=92		
		?Er=56	La=94		
		?Yt=60	Di=95		
		?In=75,6	Th=118?		

Mendeļejeva tabulas pirmais variants (1872. gads)

uzkrājusi zinātne. Protams, viņš nevarēja paredzēt nulles valences elementu pastāvēšanu. Galvenās grūtības radās tāpēc, ka nebija nekāda pamata periodiskajā sistēmā paredzēt vietu elementam, kuram it kā nav nekādu ķīmisku īpašību. Jāievēro arī tas, ka hēlijs bija atklāts tikai Saules atmosfērā un nebija informācijas par tā ķīmisko dabu. Elementu ķīmisko īpašību periodiskās atkārtojamības princips nepieļāva viena izolēta, atsevišķa elementa – argona – eksistenci. Šādiem inertiem elementiem jābūt vairākiem vai arī nav jābūt nevienam. Ramzejs vēlāk atzina, ka viņam nekad nav radušās šaubas par periodiskā likuma pareizību. Miklas atrisinājums nāca vēlāk, kad atklāja pārējās inertās gāzes un noskaidroja atoma elektronu čaulas uzbūvi.

Inerto gāzu atklāšana un izpēte. Inerto gāzu atklāšanas vēsturē ir daudz interesantu un pamācošu faktu. Šie notikumi aizsākās Kavendiša vārdā nosauktajā fizikas laboratorijā Kembridžas universitātē, kuru 1871. gadā dibināja par Henrija Kavendiša radnieka Devonšīras hercoga līdzekļiem. Laboratoriju sākumā izmantoja par mācību bāzi, taču tādu ievērojamu fiziku kā Dž. Maksvela, kurš šo laboratoriju vadīja laika periodā no 1871. gada līdz 1879. gadam, Dž. Releja (1879 – 1884), Dž. Tomsona (1884 – 1919) un E. Rezerforda (1919 – 1937) vadībā tā kļuva par vienu no pasaules vadošajām zinātniski pētnieciskajām laboratorijām.

Relejs 19. gadsimta beigu periodā nodarbojās ar gāzu blīvumu un atomsvāru pētījumiem. Pabeidzis pētījumus ar ūdeņradi un skābekli, Relejs sāka nodarboties ar slāpekļa izpēti. Pirmo slāpekļa paraugu viņš ieguva no atmosfēras, attīrot to no skābekļa, ogļskābās gāzes un ūdens tvaikiem. Otru paraugu Relejs ieguva no slāpekļpaskābā amonija, kurš karsējot sadalās slāpekli un ūdeni:



Izmantojot jutīgus analītiskos svarus, noskaidrojās, ka viens litrs "gaisa" slāpekļa svēra par 1,6 mg vairāk nekā "ķīmiskais" slāpekļis. Lai rastu šai miklai risinājumu, Relejs 1892. gadā ar žurnāla "Nature" starpniecību vērsās pie kolēģiem: "Es esmu ļoti izbrīnīts par nesenajiem slāpekļa blīvuma mērīšanas rezultātiem un būšu pateicīgs, ja kāds no lasītājiem varētu uzrādīt cēloni. Atkarībā no diviem dažādiem sagatavošanas veidiem es ieguvu dažādas vērtības. Relatīvā atšķirība ap 0,001 nav liela, bet tā atrodas ārpus kļūdu robežām un tādējādi būtu uzskatāma par iemeslu gāzu īpašību atšķirībām."

Uz šo rakstu atsaucās tikai Viljams Ramzejs, kurš jau tajā laikā bija pazīstams ar saviem gāzu un šķīdumu pētījumiem. Tā iesākās šo divu zinātnieku sadarbība. Iespējams, ka Ramzejs pirmais iedomājās, ka no gaisa iegūtais slāpekļis nav tīrs, bet gan satur vēl nezināmas gāzes piemaisījumu.

Tieši tajā laikā angļu fiziķis un ķīmiķis Džeimss Djuārs (1842 – 1923), pazīstamā Djuāra trauka izgudrotājs, vērsa Releja uzmanību uz Henrija Kavendiša eksperimenta aprakstu. Kavendišs, strādājot ar gaisa slāpekli, konstatēja, ka pēc slāpekļa oksidēšanas elektriskajā izlādē un tā izšķīdināšanas sārmā veidojas neliels gāzes burbulis, apmēram 1/120 no sākotnējā tilpuma, kurš nesavienojas ar skābekli.

Relejs atkārtoja Kavendiša eksperimentu augstākā tehniskā līmenī un pārstrādāja 50 litrus slāpekļa. Ramzejs savukārt izmantoja slāpekļa īpašību reaģēt ar sakarsētu magniju, veidojot magnija nitrīdu Mg_3N_2 . Pēc 10 dienām Ramzejs ieguva 100 cm³ gāzes, kas neveidoja ķīmiskus savienojumus ar citiem elementiem. Tā bija pusotras reizes smagāka par slāpekli un aizņēma 1/80 no gaisa tilpuma. Eksperimenti parādīja, ka ir atklāts vēl nepazīstams elements – ķīmiski pilnīgi neaktīva viela. Galīgo atbildi deva spektroskopiskie pētījumi. Jaunatklātās gāzes spektrs saturēja oranžas, zaļas un zilas spektrālīnijas, kas atšķīrās no visām zināmo gāzu līnijām.

Viljams Krukss, viens no tā laika pazīstamākajiem spektroskopistiem, šīs gāzes spektrā atklāja gandrīz 200 līniju. Tā laika spektrālanalīzes attīstības līmenis vēl neļāva spriest, vai spektrs pieder tikai vienai gāzei. 1894. gada 7. augustā, kad zinātnieki publiski ziņoja par jauna elementa atklāšanu, runāja tikai par vienu elementu. Oksfordā britu fiziķu, ķīmiķu un dabas pētnieku asociācijas sapulcē Relejs apgalvoja, ka katrs kubikmetrs gaisa satur apmēram 15 gramus jaunatklātās gāzes. Tika arī demonstrēta šīs gāzes atdalīšana māla caurulēs ar difūzijas paņēmienu. Jaunatklāto gāzi nosauca par argonu, kas tulkojumā no grieķu valodas nozīmē "slinkais", tādējādi raksturojot tās ķīmisko neaktivitāti.

Pēc spektrālanalīzes atklāšanas radās iespēja konstatēt nelielus vielas daudzumus ne tikai objektos uz Zemes, bet gan arī dažādos debess ķermeņos. Tādēļ astronomi nepacietīgi gaidīja 1868. gada pilno Saules aptumsumu, kura laikā viņi cerēja ar



Viljams Ramzejs
(1852 – 1916)

spektroskopu pirmoreiz pētīt Saules atmosfēru. Sakāpināta bija arī astronomu interese par Saules protuberancēm, kuras pirmoreiz 1842. gadā novēroja angļu astronomi. Toreiz šo ziņojumu uztvēra skeptiski. Citi uzskatīja, ka tās ir optiskas ilūzijas. Turpmākie Saules aptumsumi 1851. gadā un 1860. gadā spieda vairākumu astronomu mainīt savus uzskatus. 1860. gadā astronomi, kas bija ieradušies Spānijā, varēja pārliecināties par spožiem izcilņiem Mēness diska malās, kad tas aizēnoja Sauli.

Pjērs Žansēns Saules aptumsuma novērošanai izvēlējās Indijas austrumu piekrasti, kur tika paredzēti labākie Saules koronas novērošanas apstākļi. Aptumsums notika 1868. gada 18. augustā. Pabeidzis novērojumus, Žansēns no Indijas pilsētas Guanturas nosūtīja telegrammu Francijas Zinātņu akadēmijai: "Tika novērots aptumsums, protuberances, brīnišķīgs negaidīts spektrs. Protuberances sastāv no gāzēm."

Šajā laikā Žansēns izstrādāja metodi, lai novērotu Saules koronas spektru arī parastos apstākļos, kad nenotiek aptumsums. Izmantojot šo metodi, pētnieks atklāja Saules spektrā ne tikai ūdeņraža līnijas, bet arī spožu dzeltenu līniju, kuru sākumā uzskatīja par nātrija D līniju. Pēc dažiem mēnešiem Žansēns (nedaudz agrāk Lokjērs) konstatēja, ka dzeltenā līnija Saules spektrā atšķiras no nātrija līnijas un tā vispār nepieder uz Zemes pazīstamo elementu spektriem. Vēlāk šai līnijai piedēvēja simbolu D_3 . Par saviem novērojumiem Žansēns tūliņ vēstulē ziņoja akadēmijai. Vēstule ceļoja ilgi un Parīzē nonāca tikai 1868. gada 25. oktobrī. Dažas stundas agrāk akadēmijā nonāca vēstule no Londonas, ko pirms četrām dienām bija izsūtījis anglis Lokjērs, kurš neatkarīgi no Žansēna arī atklāja Saules atmosfēras novērošanas metodi parastos apstākļos, negaidot Saules aptumsumu, un arī novēroja dzeltenu līniju.

Nākamajā dienā abas vēstules nolasīja akadēmijas sēdē. Divu ievērojamu ziņojumu sakritība, kas saņemti no dažādām pasaules malām, atstāja lielu iespaidu. Francijas Zinātņu akadēmija nolēma šim notikumam par godu izkalt speciālu medaļu. Medaļas vienā pusē bija atveidoti Žansēna un Lokjēra portreti zem sakrustotiem lauru zariem, bet otrā pusē Saules dievs Apollons četrjūgā. Medaļas malā iegravēts uzraksts: "Saules izvirzumu analīze 1868. gadā." Medaļu izlaida par godu jaunai analīzes metodei, taču līnijas D_3 piederība vēl ilgu laiku palika neizdibināta, radot daudz minējumu un strīdu. Pēc gada franču astronoms Žoržs Raijē (1839 – 1906) izteica domu, ka gāze, kas spektrā rada dzeltenu līniju, kopā ar ūdeņradi veido Saules atmosfēru. Vēl pēc diviem gadiem Lokjērs un E. Franklands šo gāzi nosauca par hēliju, kaut arī nebija pārliecināti, vai šī gāze ir jauns elements vai arī ūdeņraža paveids, kāds nav sastopams uz Zemes. Vienīgā informācija par hēliju bija tā spektrs. Pēc spektra hēliju vēlāk atklāja Oriona zvaigznāja zvaigznēs un vēl citās baltajās zvaigznēs. Izņemot astronomus, citi par hēliju pārāk neinteresējās. Fizikā un ķīmiķi pret hēlija "mītu" izturējās skeptiski. Pat Mendelejevs savā lekcijā Londonā 1889. gadā sacīja: "Var domāt, ka hēlija līnija pieder vienam no sen zināmiem vienkāršiem ķermeņiem, kas atrodas mūsu eksperimentiem nepazīstamos temperatūras, spiediena un smagumspēka apstākļos."

1881. gadā atgadījās notikums, kas lika domāt, ka hēlijs ir atrodams arī uz Zemes. Itāļu zinātnieks Luidži Palmieri (1807 – 1896) publicēja ziņojumu, ka viņš atklājis hēliju vulkāna gāzēs. Palmieri analizēja gaiši dzeltenu vielu fumarolu, kas izgulsnējās no gāzēm

uz Vezuva krātera malām. Viņa eksperimenta apraksts bija visai neskaidrs, un vairākums pētnieku sliecās domāt, ka šeit hēlija līnija sajaukta ar nātrija D līniju.

1895. gada janvārī Ramzejs savā un Releja vārdā Londonas Karaliskajā biedrībā ziņoja par eksperimentiem ar argonu, par nespēju to ķīmiski savienot ar citiem elementiem. Starp klausītājiem bija arī mineralogs H. Maiers. Ramzeja un Releja eksperimenti Maieram asociējās ar pirms četriem gadiem publicēto F. Gilebranda darbu, kurā bija aprakstīta gāzes iegūšana no minerāla uraninīta. Šī gāze bija neaktīva, un tās daudzums bija atkarīgs no urāna daudzuma minerālā. Pēc Gilebranda domām, izdalītā gāze bija slāpekļis.

Nākamajā rītā Maiers nosūtīja Ramzejam vēstuli, kurā pievērsa Ramzeja uzmanību Gilebranda pētījumiem. No sākuma Ramzejs Gilebranda domas uztvēra skeptiski, pieļaujot, ka urāna minerālos atrodas argons. Ramzeja palīgiem Londonas ķīmisko preču veikalos izdevās nopirkt 30 g kleveita – reti sastopamu minerālu, ko polārpētnieks Nilss Nordenšelds (1832 – 1901) atklāja Norvēģijā. Kleveits satur urānu, toriju un svinu.

Vārot paraugus atšķaidītā sērskābē, Ramzejs savāca 20 cm³ bezkrāsainas gāzes. Vēlāk noskaidrojās, ka minerālā ieslēgtās gāzes var atdalīt, vienkārši karsējot minerālu. Pirmā analīze parādīja, ka gāze saturēja slāpekli, kas tur bija iekļuvis no gaisa. Kad piemaisījumi tika atdalīti ķīmiskā ceļā, gāzes pārpalikums neuzrādīja tieksmi reaģēt. Tad Ramzejs šo gāzi iepildīja caurulītē ar elektrodēm un ierosināja izlādi. Izlādes spektrā novēroja jau pazīstamās argona līnijas un vēl arī spožu dzeltenu līniju, kura nebija nātrija D līnija.

Cauruli ar gāzi Ramzejs nosūtīja Kruksam analīzei. Pavadvēstulē viņš rakstīja, ka atklājis jaunu gāzi, kurai devis nosaukumu kriptions (tas grieķiski nozīmē – slepens). Tajā pašā vakarā Krukss veica analīzi un nākamajā rītā telegrafēja Ramzejam: “Kriptions ir hēlijs, brauciet apskatīties.”

Drīz hēliju atklāja arī citos minerālos, pārsvarā tādos, kas satur urānu. Kaut gan Ramzejam bija maz hēlija, viņš konstatēja, ka tas ir inerts tāpat kā argons, bet svarā pārspēj tikai ūdeņradi. Ramzejam ar līdzstrādnieku M. Traversu hēliju izdevās iegūt no gaisa 20. gadsimta sākumā, kad tehniski bija iespējams tērēt eksperimentiem lielus šķidrā gaisa daudzumus. Hēlija daudzums gaisā ir niecīgs: tas ir 2000 reižu mazāks nekā argona daudzums gaisā. Tagad hēliju atdala no dabas gāzēm. Dažos gadījumos hēlija daudzums dabas gāzē sasniedz 8%.

Jau tad, kad no inertajām gāzēm bija atklāts vēl tikai argons, Ramzejs rakstīja Relejam: “Vai Jums nešķiet, ka periodiskās sistēmas pirmās kolonnas beigās, t. i., starp halogēniem un sārnu metāliem, ir vieta gāzveida elementiem?” Pēc savām īpašībām hēlijs Mendelejeva tabulā ieņēma vietu pirmā perioda beigās, bet argons – trešā perioda beigās. Rodas jautājums, kur meklēt iztrūkstošās gāzes. Pēc vairākiem nesekmīgiem mēģinājumiem Ramzejs un Traverss pievērsās gaisam. No iepriekšējiem eksperimentiem viņi zināja, ka,



Nilss Nordenšelds
(1832 – 1901)

iztvaicējot šķidro gaisu, pirmais iztvaiko hēlijs. Hēlija vārišanās temperatūra ir $-268,9^{\circ}\text{C}$. Meklējamajai gāzei pēc gaistamības jāatrodas starp hēliju un argonu. Zinātnieki secināja, ka jaunā gāze jāmeklē pirmajā iztvaicētajā porcijā kopā ar hēliju. Šīs frakcijas spektrā novēroja daudz sarkanu, oranžu, dzeltenu un zaļu līniju. Tās piederēja jaunatklātajai gāzei, kura bija inerta un tika nosaukta par neonu, kas tulkojumā no grieķu valodas nozīmē – jaunais. Neona daudzums gaisā ir 0,0018% pēc tilpuma, kas ir trīs reizes vairāk par hēliju.

Kriptonu atklāja augstākas temperatūras frakcijā nekā neonu. Tā daudzums gaisā ir 0,0001% pēc tilpuma. Piekto inerto gāzi jau apzināti meklēja frakcijā pēc hēlija, ūdeņraža, neona, skābekļa, slāpekļa un argona atdalīšanas. Pārpalikums bija neattīrīts kriptons. To atdalot, traukā palika nedaudz gāzes, kas deva zilu spektru. Šo gāzi nosauca par ksenonu, kas nozīmē – svešais. Gaisā ksenons ir 0,000009% pēc tilpuma.

Par Ramzeja un Traversa darba apjomu un māku var spriest pēc šādiem datiem. Lai noteiktu ksenona kā jauna elementa individualitāti, viņu rīcībā bija tikai $0,2\text{ cm}^3$ šīs gāzes. Fizikālo īpašību noteikšanai viņi izmantoja 4 cm^3 ksenona. Divu gadu laikā, pārstrādājot 100 tonnu gaisa, ieguva 300 cm^3 ksenona.

Saspringtā darbā četru gadu laikā no 1894. gada līdz 1898. gadam atklāja un izpētīja piecus inertus elementus. 1900. gada 16. martā Londonā satikās Mendeļejevs un Ramzejs. Viņi vienojās, ka elementu periodiskajā sistēmā ir nepieciešams izveidot nullto elementu grupu kā loģisku pārejas posmu starp halogēniem un sārmu metāliem. Mendeļejevs nullto grupu novietoja tabulas kreisajā pusē pirms sārmu metāliem. Divdesmit gadus vēlāk, kad padziļinājās periodiskā likuma izpratne, šo grupu pārvietoja labajā pusē aiz halogēniem.

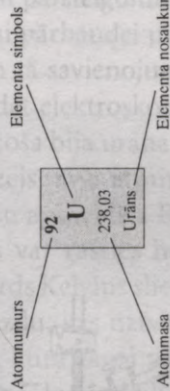
19. gadsimta beigās četru gadu laikā pasaulei kļuva zināmi 5 jauni elementi. Ar to inerto gāzu meklējumi nebeidzās, jo pati smagākā inertā gāze, kas atrodas 6. perioda beigās, nebija zināma. Ramzejs, vadoties no pieņēmuma, ka 6. periods satur 18 elementus tāpat kā 4. un 5. periods, paredzēja, ka tā atomsvars ir 178. Trūkstošā elementa meklēšanas gaitā Ramzejs sadalīja frakcijās 100 tonnu šķidrā gaisa, taču nekā jauna neatklāja. Drīz noskaidrojās, ka 6. periods satur 32 elementus. Tādējādi arī jautājums par septīto inerto gāzi vairs nebija aktuāls.

1900. gadā Rezerfords novēroja, ka torijs, radioaktīvi sabrūkot, izdala kādu gāzi, ko viņš nosauca par emanāciju. Tulkojumā tas nozīmē – izplūdumu. Tajā pašā laikā E. Dorns Vācijā un Andrē Debjorns Francijā novēroja šīs gāzes izplūšanu no rādija, bet 1903. gadā Debjorns atklāja arī aktīnija emanāciju. Noskaidrojās, ka torija emanācijas atomsvars ir 220, aktīnija – 219, bet rādija – 222. Pēdējā ir visstabilākā, tās dzīves laiks ir 3,825 dienas. Torija emanācijas dzīves laiks ir 54,5 s, bet aktīnija – 3,92 s. Pārējās izotopu īpašības bija vienādas, bet kādas tās bija, to gadsimta sākumā neviens nezināja. Cēlonis bijaniecīgais emanācijas daudzums, ko varēja iegūt pētnieki.

1903. gadā šo problēmu sāka risināt Ramzejs un angļu fiziķis un ķīmiķis Frederiks Sodī (1877 – 1956). Zinātnieku rīcībā nebija vairāk par $1/10\text{ mm}^3$ tīras emanācijas. Lai pētītu tādu niecīgu gāzes daudzumu, nācās izgudrot sevišķi jutīgus instrumentus. Ramzejs izveidoja ļoti jutīgus svarus, ar kuriem varēja nosvērt $4 \cdot 10^{-7}\text{ g}$. Pētījumu rezultāti parādīja, ka emanācija ir pēdējā meklētā inertā gāze – visretākais elements uz Zemes. Ramzejs deva

ĶĪMISKO ELEMENTU PERIODISKĀ SISTĒMA

I		II		III																IV	V	VI	VII	VIII																																																																																																																																																																																			
1	H 1,008 Ūdeņradis	3	Li 6,941 Lītijs	4	Be 9,012 Berīlijs	5	B 10,81 Bors	6	C 12,011 Ogleklis	7	N 14,007 Slāpeklis	8	O 15,999 Skābeklis	9	F 18,998 Fluors	10	Ne 20,179 Neons	11	Na 22,990 Nātrijs	12	Mg 24,305 Magnījs	13	Al 26,982 Alumīnijs	14	Si 28,086 Silīcijs	15	P 30,974 Fosfors	16	S 32,06 Sērs	17	Cl 35,453 Hlors	18	Ar 39,948 Argons	19	K 39,098 Kālijs	20	Ca 40,08 Kalcījs	21	Sc 44,956 Skandījs	22	Ti 47,88 Titāns	23	V 50,941 Vanādijs	24	Cr 51,996 Hroms	25	Mn 54,938 Mangāns	26	Fe 55,847 Dzelzs	27	Co 58,933 Kobalts	28	Ni 58,69 Nikelis	29	Cu 63,546 Varš	30	Zn 65,38 Cinks	31	Ga 69,72 Gallījs	32	Ge 72,59 Germānijs	33	As 74,922 Arsēns	34	Se 78,96 Selēns	35	Br 79,904 Broms	36	Kr 83,80 Kriptons	37	Rb 85,468 Rubīdijs	38	Sr 87,62 Stroncijs	39	Y 88,906 Itrijs	40	Zr 91,22 Cirkonijs	41	Nb 92,906 Niobijs	42	Mo 95,94 Molibdēns	43	Tc [98] Tehnecijs	44	Ru 101,07 Rutenijs	45	Rh 102,91 Rodījs	46	Pd 106,42 Pallādijs	47	Ag 107,87 Sudrabs	48	Cd 112,41 Kadmījs	49	In 114,82 Indijs	50	Sn 118,69 Alva	51	Sb 121,75 Antimons	52	Te 127,60 Telūrs	53	I 126,90 Jods	54	Xe 131,29 Ksenons	55	Cs 132,91 Cēzijs	56	Ba 137,33 Barijs	57	La 138,91 Lantānijs	58	Ce 140,12 Cērijs	59	Pr 140,91 Prāzodīms	60	Nd 144,24 Neodīms	61	Pm [145] Prometijs	62	Sm 150,36 Samiārijs	63	Eu 151,96 Eiropijs	64	Gd 157,25 Gadolīnijs	65	Tb 158,93 Terbijs	66	Dy 162,50 Disprozijs	67	Ho 164,93 Holīmijs	68	Er 167,26 Erbijs	69	Tm 168,93 Tolījs	70	Yb 173,04 Iterbijs	71	Lu 174,97 Lutēcijs	72	Hf 178,49 Hafnijs	73	Ta 180,95 Taniāls	74	W 183,85 Volframs	75	Re 186,21 Rēnijs	76	Os 190,2 Osmijs	77	Ir 192,22 Iridijs	78	Pt 195,08 Platīns	79	Au 196,97 Zelts	80	Hg 200,59 Dzīvsudrabs	81	Tl 204,38 Talijs	82	Pb 207,2 Svins	83	Bi 208,98 Bismuts	84	Po [209] Polonijs	85	At [210] Astāts	86	Rn [222] Radons	87	Fr [223] Francījs	88	Ra 226,03 Rādijs	89	Ac 227,03 Aktīnijs	90	Th 232,04 Torījs	91	Pa 232,04 Protaktīnijs	92	U 238,03 Urāns	93	Np 237,05 Neptūnijs	94	Pu [244] Plutonijs	95	Am [243] Amercijs	96	Cm [247] Kifrijs	97	Bk [247] Berklijs	98	Cf [251] Kalifornijs	99	Es [252] Eissteinijs	100	Fm [257] Fermījs	101	Md [258] Mendeļēvijs	102	No [259] Nobelījs	103	Lr [260] Lourensījs



Elementu periodiskās sistēmas mūsdienu variants. Elementu izvietojums atbilst kvantu mehānikas secinājumiem

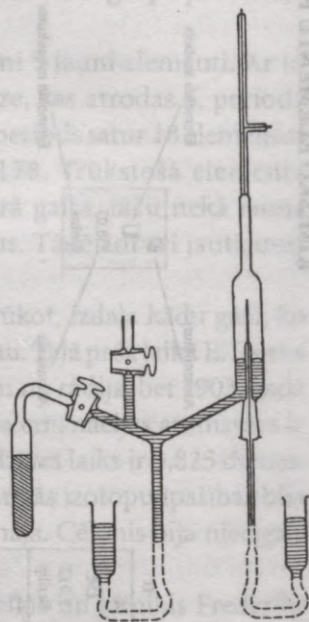
emanācijai jaunu nosaukumu – nitons (no latīņu vārda *niteo* – mirdzu). 15 gadus izmantoja abus nosaukumus. Starptautiskā ķīmisko elementu komiteja 1923. gadā nolēma radioaktīvās sabrukšanas gāzveida produktus nosaukt vārdā, kas veidots no izejas elementa nosaukuma saknes, pievienojot galotni “on”. Tā emanācija jeb nitons kļuva par radonu.

Ilgāku laiku zinātniekiem neizdevās iegūt radona spektru. Ramzejs iedomājās, ka radona spektru varētu iegūt, piejaucot radonam hēliju. Tad līdzās hēlija līnijām vajadzētu ierosināties arī radona spektram. Pēc vairākām neveiksmēm zinātnieki atgriezās pie tīra radona ierosināšanas kapilārās caurulēs. Taču, aizņemti ar citiem darbiem, zinātnieki kapilāru ar radonu sāka pētīt tikai pēc dažām dienām. Viņus gaidīja pārsteigums – caurulītē mirdzēja hēlijs, kaut gan hēlijs tur netika ievadīts. Apstiprinājās Rezerforda agrāk izteiktā hipotēze, ka hēlijs minerālos rodas tāpēc, ka tas ir viens no radioaktīvās sabrukšanas produktiem. Visticamāk – α daļiņas ir hēlija kodoli. Lai par to pārliecinātos, Rezerfords veica vienkāršu, bet pārliecinošu eksperimentu.

Tievā stikla caurulītē, kuras sienīņu biezums bija 1/100 mm, ievadīja radonu. Šo caurulīti ievietoja otrā, kurai bija biezas sienīņas un speciāli izveidots sānu atzarojums ar elektrodiem. Dažas dienas pēc radona ievadīšanas ārējā caurulē uzkrātā gāze, izmantojot dzīvsudraba balonu, kas elastīgi pievienots ārējai caurulei, tika iepildīta atzarojumā ar elektrodiem. Spektroskops uzrādīja hēlija klātbūtni. Kontrolēksperiments, kur iekšējā caurulē ievadīja hēliju, nevis radonu, neuzrādīja hēlija klātbūtni izlādes caurulē. Atšķirībā no α daļiņām hēlija atomi nespēja izspiesties cauri plānajām stikla sienīņām.

Atceroties grūtības radona spektra iegūšanā, Sodi rakstīja: “Zinātnieku rīcībā esošais rādija daudzums, kā mēs tagad zinām, bija bezcerīgi mazs šī uzdevuma veikšanai. Katrā mēģinājumā tikko kā ar radonu piepildītajā spektrālajā caurulītē jaunais spektrs parādījās momentāna uzliesmojuma veidā, taču tūlīt pat atdeva vietu parastam ūdeņraža un oglekļa dioksīda spektram, kas vienmēr parādās līdzīgās sīkās caurulītēs pie vadāmības robežas. Vēlāk Vīnes Zinātņu akadēmija nodeva Ramzeja un Rezerforda rīcībā katram dažus simtus miligramu rādija, un abiem zinātniekiem izdevās iegūt vēlamo rezultātu. ... Rezerfords kopā ar Roidsu ieguva teicamu radona spektra fotogrāfiju. Radona spektrālajām caurulītēm izlādē ir prātu mulsinoša īpašība “izlaist garu” (t. i., kļūt strāvu nevadošām) vēl lielākā mērā nekā radona tuvākajam līdziniekam – ksenonam, kuram šī parādība ir izpētīta. Tieši ar to ir arī izskaidrojams, ka sākotnējie mēģinājumi fiksēt radona spektru bija nesekmīgi.”

Drāmas pēdējais cēliens. Arī pārējo radioaktīvo elementu atklāšana bija pārdzīvojumiem bagāta. Pirmoreiz radioaktivitāti 1896. gadā novēroja franču fiziķis Antuāns Bekereļs (1852 – 1908), un tā bija netieši saistīta ar iepriekšējā gadā notikušo rentgenstaru atklāšanu. Bekereļs ievēroja, ka



Iekārtas, ar kuru Rezerfords pierādīja α daļiņu pārvēršanos hēlijā, shēma

Rentgena eksperimentos katodstari vienlaikus izraisa neredzamos X starus un labi novērojamo luminiscenci. Anrī Puankarē (1854 – 1912) izteica domu, ka luminiscence ir saistīta ar X staru emisiju. Poļu izcelsmes franču fiziķe Marija Sklodovska-Kirī (1867 – 1934) šajā sakarībā rakstīja: “Sākumā Rentgena caurulēm nebija metāliska antikatoda. Par rentgenstaru avotu kalpoja stikla sienīņa, kura bija pakļauta katodstaru iedarbībai; turklāt tā stipri fluorescēja. Varēja rasties jautājums, vai rentgenstaru emisija nav fluorescences neiztrūkstošs pavadoņš neatkarīgi no pēdējās cēloņa. Šo domu pirmais izteica A. Puankarē kungs.”

Lai pārbaudītu šo ideju, Bekerels izmantoja daudzus luminiscējošus materiālus. Pēc virknes nesekmīgu eksperimentu viņš novietoja divas urāna sāļu kristāla plāksnītes uz melnā papīrā ietītas fotoplates. Urāna sāļus pakļāva stiprai Saules gaismas iedarbībai, un pēc dažu stundu ilgas ekspozīcijas uz fotoplates varēja labi saskatīt kristālu aprises. Šķita, ka ideja ir apstiprinājusies. Saule ierosināja gan urāna sāļu luminiscenci, gan arī radiāciju, kas cauri papīram iedarbojas uz fotoemulsiju. Taču notika neparedzēts gadījums.

Sagatavojis kārtējo plati ar urāna sāļu kristāliem, Bekerels to iznesa Saules gaismā. Diena gadijās mākoņaina un eksperimentu pēc īsa brīža nācās pārtraukt. Nākamajās dienās Saule neparādījās, un Bekerels nolēma plati attīstīt, necerot iegūt labu uzņēmumu. Taču viņam par pārsteigumu attēls bija asi iezīmēts. Bekerels nesvārstoties pakļāva savu hipotēzi nopietnai pārbaudei un sāka pētīt urāna sāļu iedarbību uz fotoplati tumsā. Atklājās, ka urāns un tā savienojumi nepārtraukti emitē starus, kas iedarbojas uz fotoemulsiju un spēj izlādēt elektroskopu, t. i., izraisīt jonizāciju. Šis atklājums radīja sensāciju. Sevišķi pārsteidzoša bija urāna spēja spontāni izstarot bez jebkādas ārējas iedarbības.

Ramzejs savās atmiņās raksta, ka 1896. gada rudenī, kad viņš kopā ar lordu Kelvinu un Stoksu apmeklēja Bekerela laboratoriju, “šie pazīstamie fiziķi bija nesaprašanā, no kurienes var rasties neizsmeļams enerģijas krājums urāna sāļos. Lords Kelvins sliecās uz domām, ka urāns kalpo par sava veida slazdu, kas uztver citādā veidā neatklājama starojuma enerģiju, kura cauri telpai nonāk līdz mums un pārveido to tādā formā, kurā tā kļūst spējīga ķīmiski iedarboties.”

Radās interese meklēt līdzīgas īpašības citiem minerāliem, ne tikai urāna un torija savienojumiem. Dažiem minerāliem (halkolītam, karnotītam u. c.) konstatēja lielāku radioaktivitāti nekā urānam. Marija Sklodovska-Kirī uzskatīja, ka šie materiāli satur ļoti radioaktīvus piemaisījumus. Bet, ja tā, tad ir cerības no šiem minerāliem atdalīt radioaktīvo vielu. Viņa izvēlējās radioaktivitātes pētīšanu par savas disertācijas tēmu. Par šiem pētījumiem ieinteresējās arī Pjērs Kirī (1859 – 1906). Abiem zinātniekiem nācās pārvarēt lielas grūtības. “Šajā darba periodā



Antuāns Bekerels
(1852 – 1908)



Marija Kirī
(1867 – 1934)

mums ļoti traucēja nepieciešamo līdzekļu, telpu, naudas un personāla trūkums,” vēlāk rakstīja Marija Kirī.

Sākumā Pjērs un Marija Kirī varēja paļauties tikai uz saviem spēkiem. Pirmo summu, kas bija nepieciešama urāna rūdas iepirkšanai, viņi ietaupīja no Pjēra algas, kas bija 500 franku mēnesī. Pjēram nebija pat savas laboratorijas. Laimīgā kārtā, pateicoties Austrijas zinātnieku atbalstam, Austrijas valdība iegādājās tonnu urāna rūdas, ko uzdāvināja Kirī, bet Parīzes fiziķu un ķīmiķu skolas direktors Šucenbergers atļāva zinātniekiem apmesties šķūnī. Viņi pārstrādāja vairākas tonnas urāna rūpniecības atkritumu. To visu viņi veica bez piemērotām iekārtām pamestā šķūnī, kas nepasargāja pat no lietus. Zināmu palīdzību šajā darbā sniedza lektors Ž. Bemons, ķīmiķis A. Debjorns un fiziķis Ž. Sanjaks. 1898. gada 18. jūnijā Bekerels iesniedza Parīzes Zinātņu akadēmijā Pjēra Kirī un Marijas Sklodovskas-Kirī referātu “Par jaunu radioaktīvu vielu”. Referātā rakstīts: “Mēs centāmies atdalīt šo vielu no urāna rūdas. Eksperiments apstiprināja mūsu pieņēmumu. Veicot ķīmiskus pētījumus, mēs nepārtraukti kontrolējām tās vielas radioaktivitāti, kas tika atdalīta dotajā zinātniskā darba etapā. Katra no šīm vielām tika uzklāta vienam no kondensatora diskiem, un gaisa vadītspēja tika mērīta ar pjezoelektriska kvarca instrumentu un elektrometru. Beigās radioaktīvais elements paliek kopā ar bismutu. Tāpēc mēs pieļaujam, ka viela, kas atdalīta no urāna oksīda, satur līdz šim nepazīstamu metālu, kurš pēc savām īpašībām līdzīgs bismutam. Ja šā jaunā metāla esamība apstiprināsies, mēs iesakām to nosaukt par poloniju, par godu valstij, kura ir dzimtene vienam no mums.”

1898. gada 26. decembrī Bekerels iesniedza jaunu ziņojumu, kura autori bija Pjērs un Marija Kirī, kā arī Ž. Bemons “Par jaunu spēcīgu radioaktīvu vielu, kas atrodas urāna rūdā”. Šajā ziņojumā rakstīts: “Mūsu pētījumu laikā mēs sastapāmies ar vēl vienu visai spēcīgu radioaktīvu vielu, kas pēc savām ķīmiskajām īpašībām stipri atšķiras no polonija. Polonijs pilnīgi izgulsnējas amonjaka iedarbības rezultātā, turpretī jaunā viela, kas pēc savas ķīmiskās izturēšanās ir visai līdzīga bārijam, amonjaka iespaidā neizgulsnējas... Mēs ieguvām šīs vielas hlora savienojumus, turklāt tie izrādījās 900 reižu aktīvāki par analogiskiem urāna savienojumiem. E. Demarsejs mūsu jauno vielu pakļāva spektrālanalīzei un atklāja līniju (3814,8 Å), kas nav raksturīga nevienam no zināmajiem elementiem. Šīs līnijas intensitāte palielinājās, palielinoties hlora savienojumu radioaktivitātei, kas bagātināti ar šo vielu, kuru mēs ierosinām nosaukt par rādiju.”



Pjērs Kirī
(1859 – 1906)



Pjērs un Marija Kirī

1899. gada 16. oktobrī tika iesniegts Kirī līdzstrādnieka Andrē Debjorna ziņojums, kurā sacīts: “Es konstatēju, ka sastāvs, kas satur titānu un tam analogiskas vielas, uzrāda ļoti lielu radioaktivitāti (100 000 reīzu stiprāku par urāna radioaktivitāti). Vēl vairāk, šīs vielas ķīmiskās īpašības pilnīgi atšķiras no rādija un polonija ķīmiskajām īpašībām.” Jaunatklāto vielu nosauca par aktīniju.

Neraugoties uz Kirī laulātā pāra sasniegumiem zinātniskajā darbā, viņu rīcībā vēl arvien nebija piemērotas laboratorijas. 1902. gadā Ženēvas universitāte uzaicināja Pjēru Kirī vadīt fizikas katedru, piedāvājot oficiālu darbu arī Marijai Kirī. Šis piedāvājums bija vilinošs, taču tas traucētu viņu uzsākto darbu, tādēļ tas tika noraidīts. Šajā pašā laikā Anrī Puankarē atbalstīja Pjēra Kirī kandidatūru Dabas zinātņu fakultātes fizikas katedras vadītāja amatam. Pjēru Kirī norīkoja par šīs fakultātes profesoru. Marijai Kirī bija iespēja lasīt fizikas lekcijas pirmā un otrā kursa studentēm Augstākajā sieviešu skolā Sevrā. Tas ievērojami uzlaboja viņu materiālo stāvokli, taču mazāk laika iznāca veltīt zinātniskajam darbam. Turklāt viņu sapnis nepiepildījās: viņu rīcībā nebija zinātniskam darbam piemērotas laboratorijas.

1901. gadā Pjērs Kirī ar sevi veica riskantu eksperimentu. Viņš pakļāva savu roku desmit stundu ilgai radioaktīva preparāta iedarbībai. Tūlīt pēc iedarbības parādījās apstarotās vietas apsarkums. Vēlāk apstarotajā vietā veidojās brūce, kuras ārstēšanai bija nepieciešami četri mēneši. 1903. gadā Pjērs Kirī atklāja radioaktivitātes samazināšanās kvantitatīvu likumu un ieviesa pussabrukšanas perioda jēdzienu, kā arī konstatēja sabrukšanas neatkarību no ārējiem apstākļiem. Kirī kopā ar A. Labordu atklāja rādija sāļu spēju izdalīt siltumu, kas liecināja par atomenerģijas pastāvēšanu. Katrs grams rādija stundā izdala apmēram 80 kaloriju. Par radioaktivitātes pētījumiem Antuāns Bekerels, Pjērs Kirī un Marija Sklodovska-Kirī 1903. gadā saņēma Nobela prēmiju.

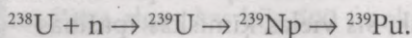
Pjērs Kirī labi apzinājās sava atklājuma sekas. Runā, saņemot Nobela prēmiju, viņš sacīja: “Nav grūti paredzēt, ka noziedzīgās rokās rādiji var kļūt ļoti bīstams, un, lūk, rodas jautājums, vai tiešām cilvēcei ir derīgi zināt dabas noslēpumus, vai tā ir pietiekami nobriedusi tam, lai tos pareizi izmantotu, jeb arī šīs zināšanas atnesīs tai tikai ļaunumu. Šajā ziņā raksturīgs piemērs ir Nobela veiktais atklājums. Jaudīgās sprāgstvielas atļāva cilvēkiem veikt brīnišķīgas darbības, bet tās arī kļuva par nāvīgu līdzekli lielu noziedznieku rokās, novedot tautas uz kara takas. Es piederu to skaitam, kas līdzīgi kā Nobels uzskata, ka jaunie atklājumi kopumā atnesīs cilvēcei vairāk labuma nekā ļaunuma.” Pjēra Kirī dzīve aprāvās pašos spēka gados, viņš 1906. gadā pakļuva zem smagā ormaņa pajūga riteniem.

Atombumba, ko amerikāņi 1945. gadā nometa uz Nagasaki, bija izgatavota no plutonija mākslīgā izotopa ^{239}Pu . Šā izotopa pussabrukšanas periods ir $2,4 \cdot 10^4$ gadi. Vajadzēja pārvarēt lielas tehniskas grūtības, lai kodolreaktoros no urāna rūpnieciski iegūtu plutoniju. Valdīja



Litogrāfija "Rādiji", kas veltīta rādija atklāšanai

uzskats, ka plutonijs dabā nav sastopams. Taču 1948. gadā G. Siborgs un M. Perlmans šo plutonija izotopu atklāja urāna rūdā Kanādā pie Lielā Lāčezera. Šeit plutonijs sintezējas dabiskos apstākļos. Šim procesam nepieciešams urāns un neitroni. Plutonija sintēzes reakcijā tiek emitēti divi elektroni:



1952. gadā novembrī amerikāņi Klusā okeāna dienviddaļā izdarīja lielas jaudas ūdeņraža bumbas izmēģinājumu. Pēc tam nokrišņos konstatēja agrāk nezināmu plutonija izotopu ^{244}Pu . Tā pussabrukšanas periods ir 82 miljoni gadu. ASV Arkanzasas universitātes profesors P. Kuroda izteica hipotēzi, ka izotopam ^{244}Pu ir bijusi liela nozīme Saules sistēmas evolūcijas procesā. Lai veidotos izotops ^{244}Pu , nepieciešamas lielas neitronu plūsmas, kas veidojas zvaigžņu eksplozijās.

Eksplozijas ir daudzu zvaigžņu evolūcijas normāla stadija. Jaunās zvaigznēs samērā mierīgi "izdeg" vieglie elementi un vienmērīgi izdalās enerģija. Kad vieglie elementi "izdeguši", gravitācijas efekti ņem pārsvaru pār termisko izplešanos, un zvaigzne katastrofāli strauji saraujas. Atomu kodoli tik stipri satuvinās, ka sāk apvienoties periodiskās sistēmas vidusdaļā esošie elementi. Īsā laikā izdalās milzīga enerģija. Notiek kodoleksplozija. Apmēram reizi trīsdesmit gados var novērot šādu spoži uzliesmojošu zvaigzni. Tās sauc par pārnovām. Iespējams, ka pārnovu izmestā masa varēja kalpot par materiālu Saules sistēmas izveidei pirms 4,6 miljardiem gadu. Šādā eksplozijā rodas ^{244}Pu un citu transurāna elementu izotopi. Šo izotopu dzīves laiki ir samērā īsi. Līdz mūsu dienām tie ir "izmiruši". Jau izzudušo elementu kādreizējo eksistenci var censties noskaidrot pēc to sabrukšanas produktiem vai to pēdām.

Zemes ieži ģeoloģisko un ģeokīmisko procesu laikā šādu informāciju jau zaudējuši. 1960. gadā Kuroda pētījumiem ieteica izmantot meteorītus. Izotops ^{244}Pu un citu transurāna elementu izotopi noteikti atstājuši šo minerālu kristāliskajās struktūrās radioaktīvās sabrukšanas pēdas. Smagie kodoli iekšējo spēku iespaidā dalās divās daļās. Dališanās procesā katra smagā kodola šķemba saņem ap 100 MeV enerģijas. Atomu mijiedarbības enerģija kristālā ir tikai 2–3 eV, tādēļ sabrukušo atomu šķembas saārda kristāla regulāro struktūru, radot defektus kanālu veidā. Kristālus ķīmiski apstrādājot, kanālus var paplašināt un tad novērot parastā optiskā mikroskopā.

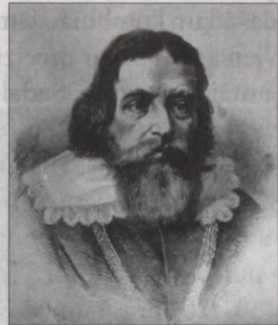
4. 3. Redzamā starojuma viļņu garums un krāsa

Krāsas dabā. Elektromagnētiskais starojums aptver ļoti plašu frekvenču rajonu, kas sākas ar radioviļņiem un beidzas ar γ stariem. Šim rajonam atbilst frekvenču izmaiņas no 10^3 Hz līdz 10^{23} Hz. Starojums, kura iegūšanai un pētīšanai izmanto optiskās metodes, ir ievērojami šaurākā diapazonā un aptver frekvences no $3 \cdot 10^{11}$ līdz $3 \cdot 10^{17}$ Hz, kam atbilst viļņu garumi no 1 nm līdz 1000 μm . Tikai ļoti šaurā intervālā no 380 nm līdz 760 nm mēs šo starojumu uztveram kā gaismu. Frekvenču skalā tam atbilst $4,0 \cdot 10^{14}$ – $7,6 \cdot 10^{14}$ Hz. UV (1–380 nm) un IS (0,76–1000 μm) starojums gaismas sajūtu neizraisa. Turpretī redzamo starojumu mēs uztveram ne tikai kā gaismu vispār, bet gan kā noteiktas krāsas gaismu. Ja Saules starojuma doto gaismu pieņemam par baltu, tad, Saules stariem lūstot ūdens pilienos vai prizmā, var iegūt dažādas krāsas gaismas: sarkanu, dzeltenu, zaļu, zilu u. c.

Jau daudzus gadsimtus pirms Ņūtona tika diskutēts par krāsas dabu. Rodžers Bēkons uzskatīja, ka varavīksnes krāsas ir subjektīva parādība, kas atkarīga no acs mitruma. Frančesko Mauroliko norādīja uz septiņām varavīksnes krāsām agrāk atzīto trīs krāsu vietā. Arī Ņūtons atzina septiņas krāsas.

Nav pamata domāt, ka Ņūtons pirmais novērojis krāsas, sadalot gaismu ar prizmu. Sergejs Vavilovs, kurš labi pārzināja Ņūtona darbus, rakstīja: “Ņūtons nebūt neatklāja prizmatiskās krāsas, kā to nereti raksta un sevišķi stāsta; tās bija zināmas sen pirms viņa, par tām zināja Leonardo da Vinči, Galilejs un daudzi citi; stikla prizmas tika pārdotas 17. gadsimtā tieši prizmatisko krāsu dēļ.”

Jau pirms Ņūtona – 1648. gadā – latīņu valodā iznāca Prāgas medicīnas profesora Mareka Marci (1595 – 1667) sacerējums. No tā varēja uzzināt par interesantu autora eksperimentu. Marci izmantoja trīsskaldņu stikla prizmu, caur kuru izlaida Saules staru kūli. Izejot cauri prizmai un nonākot uz balta ekrāna, Saules gaisma veidoja krāsainu attēlu. Marci secināja, ka laužto staru krāsa ir atkarīga no to lūšanas pakāpes. Taču šie novērojumi neizpelnījās ievēribu.



Mareks Marci
(1595 – 1667)

Ņūtona nopelns ir tas, ka viņš realizēja eksperimentus, kas noskaidroja laušanas koeficienta atkarību no gaismas krāsas, kā arī realizēja dažādu krāsu gaismas saskaitīšanu. Ņūtons rakstīja: “1666. gadā, kad slīpēju asfēriskas formas optiskos stiklus, es sadabūju sev trīsstūra stikla prizmu, lai ar tās palīdzību mēģinātu pārbaudīt pazīstamo krāsu parādību. Šim nolūkam es aptumšoju savu istabu un izveidoju ļoti mazu caurumu aizvirtņos, lai ielaistu atbilstošu Saules gaismas daudzumu. Es novietoju savu prizmu pie šā cauruma tādā veidā, lai tā laužtu gaismu uz pretējās sienas. No sākuma man sagādāja lielu apmierinājumu aplūkot tādā veidā iegūtās dzīvās un intensīvās krāsas.”

Saules gaismas spektrā Ņūtons atklāja 7 dažādas krāsas: sarkanu, oranžu, dzeltenu, zaļu, debeszilu, zilu un violetu, kas izvietojās noteiktā secībā. Saules spektrā viena krāsa pāriet otrā nepārtraukti, starp tām nav asas robežas. Tādēļ rodas jautājums, kāpēc Ņūtons saskaitīja tikai septiņas krāsas, bet ne vairāk.

Atbildi dod angļu fiziķis R. A. Haustens: “Septiņas planētas (senos laikos planētām pieskaitīja arī Sauli un Mēnesi, pārējās – Merkurs, Venera, Marss, Jupiters, Saturns) uzskatīja par dievišķām, un šī ideja kā sarkans pavediens caurvija visu viduslaiku astroloģiju. Saules iespaids uz ražu un klimatu bija tik acīm redzams, ka likās dabiski pieņemt arī citu planētu iespaidu uz cilvēku darbību, kaut arī ne tik acīm redzamu, taču ne mazāk svarīgu... Mēneša iedalījums nedēļās bija izdarīts par godu planētām. Un, bez šaubām, pateicoties 7 planētām, skaitlis 7 ieguva svētu raksturu Bībelē; alķīmijā bija 7 galvenie metāli, oktāvā – 7 notis, spektrā 7 krāsas.”

Ņūtons pārbaudīja katras krāsas gaismu atsevišķi un konstatēja, ka tās tālāk vairs nevar sadalīt. Savācot ar otru prizmu visas krāsainās gaismas kopā, Ņūtons atkal ieguva balto gaismu. Tātad baltā gaisma ir visu krāsu gaismu kombinācija. Vairāk nekā 100

gadus Ņūtona pretinieki iebilda pret šo teoriju. Pat 19. gadsimtā vācu dzejnieks, filozofs un dabas zinātnieks J. V. Gēte (1749 – 1832) kritizēja Ņūtona krāsu teoriju. Gētes spēcīgākais arguments bija tas, ka “krāsu gaisma ir tumšāka par baltu, bet gaismu nevar iegūt no tumsas”. Gētes iebildumi Ņūtonam attiecībā uz baltās gaismas sastāvu bija kļūdaini, bet Gētes darbi krāsu teorijā ir ar vēsturisku nozīmi: galvenokārt redzes fizioloģijā un psiholoģijā.

Krāsu iegūšana un raksturlielumi. Nākamo svarīgo atklājumu 1807. gadā izdarīja Tomass Jungs, kurš atklāja, ka baltu gaismu var iegūt, kombinējot sarkano, zaļo un zilo gaismu. Atklājās, ka arī visas citas dabā sastopamās krāsas var iegūt ar šo trīs krāsu dažādām kombinācijām, tādēļ tās tika nosauktas par pamatkrāsām. Taču ar nosaukumu vien krāsu nevar precīzi raksturot, tam nepieciešams precīzāks apraksts. Aplūkosim šo jautājumu tuvāk. Sadalot Saules gaismu ar prizmu, Ņūtons ieguva elektromagnētisko viļņu spektru, kurā tradicionāli izšķiram septiņas krāsas.

Šāds spektra sadalījums rajonos ir stipri nosacīts, jo tas atkarīgs no acs individuālajām īpašībām. Turklāt krāsas tonis atšķiras arī katra minētā rajona robežās. Labi trenēta acs spektrā var atšķirt 150 – 200 krāsu toņus. Krāsu toni apzīmē ar atbilstošā elektromagnētiskā starojuma viļņa garumu. Tā zaļās gaismas tonis acs jutības maksimumā ir 555 nm, nātrija D līnijas tonis 589,3 nm.

Krāsas, kuras iegūst, sadalot gaismu spektrā, sauc par spektrālām krāsām. Tās ir piesātinātas un to tīrība ir 100%. Apgaismojot baltu ekrānu ar spektrālu zaļu gaismu, kuras tonis ir $\lambda = 555$ nm, ekrāna krāsa arī būs spektrāli zaļa. Ja šo pašu ekrānu vienlaikus apgaismo ar zaļu gaismu, kuras tonis ir $\lambda = 555$ nm un baltu gaismu, tad ekrāns tāpat kā iepriekš būs zaļā krāsā, bet šī zaļā krāsa būs bālāka. Pievienojot spektrālai zaļai gaismai dažādus baltās gaismas daudzumus, var iegūt daudzas tā paša toņa, bet dažādas tīrības zaļās krāsas. Piemēram, sajaucot 40 vienības spektrālās gaismas ar 60 vienībām baltās gaismas, iegūst gaismu, kuras tīrība $p = 40/(40+60) = 0,4 = 40\%$. Baltās gaismas tīrība ir 0%. Krāsas tonis λ un krāsas tīrība p nosaka krāsas kvalitāti, ko sauc par krāsainību. Lai krāsu raksturojums būtu pilnīgs, nepieciešams arī kvantitatīvs vērtējums.

Ja papīra loksnes vienu pusi apgaismo ar tiešajiem Saules stariem, bet otru – ar izklaidētajiem, varam konstatēt, ka to krāsas atšķiras. Spektrālais sastāvs abos gadījumos ir vienāds, taču atšķiras gaismas daudzums, ko raksturo ar spožumu B . Tādējādi vājā apgaismojumā rozā krāsu uztversim par bordo, dzeltenu par brūnu, bet debeszilu par tumšzilu. No sacītā izriet, ka krāsu var viennozīmīgi raksturot ar krāsainību (toni λ un tīrību p) un spožumu B . Divas krāsas ir vienādas, ja tām ir vienāda krāsainība un vienāds spožums.

Gaismas avota spektrālais sastāvs nosaka tā krāsu. Saules gaismu pieņemam par baltu. Kvēllampa, salīdzinot ar Sauli, dod dzeltenīgu, bet svece – oranžu gaismu, jo šajos gaismas

Gaismas krāsa	Viļņu garuma intervāls, nm
Violeta	380 – 430
Zila (indigo)	430 – 460
Debeszila	460 – 500
Zaļa	500 – 560
Dzeltena	560 – 590
Oranža	590 – 620
Sarkana	620 – 760

avotos relatīvi vairāk pārstāvēts garāko viļņu starojums. Nātrija lampa dod dzeltenu gaismu, kuras toni nosaka spektrālīnija ar viļņa garumu $\lambda = 589,3$ nm.

Apgaismotu priekšmetu krāsa ir atkarīga no krītošās gaismas sastāva un priekšmetu īpašībām, t. i., no to atstarošanas, caurlaidības un absorbcijas spējas. Krāsas iedala ahromatiskās un hromatiskās krāsās. Ahromatiskās krāsas ir balta, melna un pelēka. Pelēkās ir starpkrāsas starp baltu un melnu. Ahromatiskās krāsas spektrā nav, tās ir bezkrāsainas. Priekšmeti, kuri gaismu laiž cauri vai atstaro neselektīvi, ir ahromatiskā krāsā, ja tos aplūko dienas gaismā. Balts ir svaigs sniegs, magnija oksīds, rasēšanas papīrs. Pelēkā krāsā ir zemas kvalitātes papīrs, netīrs sniegs. Sodrēji un melnā tuša ir melnā krāsā.

Objekts	Atstarošanās koeficients, %	Ahromatisko krāsu pakāpes
Magnija oksīds	96	
Svaigs sniegs	85	
Mākoņi	80	
Rasēšanas papīrs	75	
Pienstikls	50	
Vecs sniegs	40	
Sausa zeme	14	
Mitra zeme	8 – 9	
Sodrēji	4 – 6	
Dziļi okeāni	3	
Melns samts	0,3	

Visas pelēkās krāsas var iegūt, sajaucot dažādās proporcijās balto un melno krāsu. Acs ir spējīga starp balto un melno atšķirt ap 200 ahromatisko, t. i., pelēko krāsu.

Hromatiskās krāsas iedala spektrālajās un jauktajās. Spektrālās krāsas ir tīras, jo tās nesatur baltās krāsas piejaukumu. Taču spektrālās krāsas neaptver to krāsu bagātību, kas sastopama dabā. Spektrā nenovērojam aveņu, ķiršu, ceriņu un daudzas citas krāsas. Jaunas krāsas var iegūt, ne tikai savstarpēji jaucot spektrālās un ahromatiskās krāsas, bet gan arī kombinējot spektrālās krāsas. Tā aveņu, ķiršu un ceriņu, kuras sauc par purpura krāsām, iegūst, jaucot dažādās proporcijās zilo un violeto ar sarkano. Krāsu jaukšanu, kura notiek optiskā ceļā, sajaucot monohromatiskas gaismas plūsmas, sauc par optisko jeb aditīvo krāsu jaukšanu. Acs nespēj noteikt, no kādām sastāvdaļām iegūta dotā krāsa, tāpēc jebkuru redzamo starojumu raksturo ar vienu noteiktu krāsas toni. Jaucot spektrālās krāsas, nevar iegūt jaunas spektrālās krāsas. Tas nozīmē, ka iegūtās krāsas tīrība ir mazāka par 100%. Piemēram, jaucot spektrālo zilo gaismu, kuras tonis ir $\lambda_1 = 470$ nm, ar spektrāli zaļo, kuras tonis ir $\lambda_2 = 540$ nm, iegūst debeszilu gaismu, kuras tonis ir $\lambda_3 = 500$ nm, bet tīrība $p = 55\%$.

Daudzos eksperimentos noskaidrots, ka var sameklēt hromatisku krāsu pārus, kas, sajaukti noteiktās proporcijās, veido ahromatisku krāsu. Šādas krāsas sauc par papildkrāsām.

Krāsa	Tonis, λ nm	Papildkrāsa	Tonis, λ nm
Sarkana	680	Debeszila	495
Oranža	590	Debeszila	485
Dzeltena	580	Zila	480
Dzelteni zaļa	560	Purpura	560'
Zaļa	540	Purpura	540'
Violeta	430	Dzelteni zaļa	570

Papildkrāsu esamību eksperimentāli var pārbaudīt ar nepārtraukta spektra avota – jaudīgas kvēllampas – palīdzību. Spektrā, kas iegūts ar prizmas starpniecību, aizšķērso, piemēram, oranžo spektra daļu. Pārējās spektrālās gaismas, izmantojot otru prizmu, apvieno un projicē uz balta ekrāna. Ekrāna apgaismojums būs debeszilā krāsā.

Purpura krāsas rodas, sajaucot sarkanu un zilu vai violetu krāsu. Ja pārsvarā ir zila vai violeta krāsa, tad iegūst ceriņu vai ķiršu krāsu. Pretējā gadījumā, ja sarkanā ir pārsvarā, salīdzinot ar zilo un violeto, iegūst aveņu krāsu. Tā kā purpura krāsas nav sastopamas spektrā, tās nevar raksturot ar toni. Tāpēc dažādās purpura krāsas raksturo ar atbilstošo papildkrāsu viļņu garumiem, papildinot tos ar indeksiem. Piemēram, zaļai krāsai ar toni $\lambda = 540$ nm atbilst purpura krāsa, kuras toni nosacīti apzīmē ar $\lambda = 540'$ nm.

Purpura krāsas noslēdz pārrāvumu spektrā starp sarkano un violeto krāsu. Visas spektrālās un tīrās purpura krāsas var attēlot krāsu aplī. Parasti tajā parādītas tikai raksturīgākās krāsas: sarkanā, dzeltenā, zaļā, debeszilā, zilā un purpura. Baltijas vācu ķīmiķis Vilhelms Ostvalds (1853 – 1932) savā krāsu aplī izmantoja vairāk nekā 20 krāsu toņus. Lai šos krāsu toņus raksturotu, viņš lietoja vārdu kombinācijas: citrondzeltenš, dzeltens, zelta dzeltens, oranždzeltenš, oranžsarkans, gaišsarkans (cinobrs), koši sarkans, karmīns (spilgti sarkans), purpurs, sarkanviolets, violets, zili violets, sarkanīgi zils, zils, prūšu zils, ledus zils, zili zaļš, zaļš, dzeltenī zaļš, zaļi dzeltens.

Patiesībā krāsu aplī vajadzētu attēlot nepārtrauktu joslu, kurā ietilptu visas tīrās spektrālās un purpura krāsas, vienmērīgi pārejot no citas citā. Mūsu acs ar laba spektroskopa palīdzību spēj atšķirt apmēram 180 spektrālo un ap 20 purpura krāsu toņu. Katra no šīm 200 krāsām, sajaukta dažādās proporcijās ar balto krāsu, dod daudzas krāsas, kam ir vienāds tonis, bet dažāda tīrība. Tādā veidā, piemēram, jaucot sarkano un balto, iegūst rozā krāsas. Visvairāk krāsu pakāpju var atšķirt sarkanam tonim – ap 25, zilam – 20, zaļam – 18. Vismazākais pakāpju skaits ir starp balto un dzelteni krāsu – 6. Ievērojot to, ka izšķiramo toņu skaits krāsām ir ap 200, jaucot tās ar balto krāsu, iegūstamas ap 3600 krāsu nianšu.

Jaunas krāsas var iegūt arī citādā ceļā – izmantojot subtraktīvo krāsu sintēzi. Iedomāsimies, ka projektora gaismas staru kūlis aizšķērso ar purpura un debeszilu filtru.



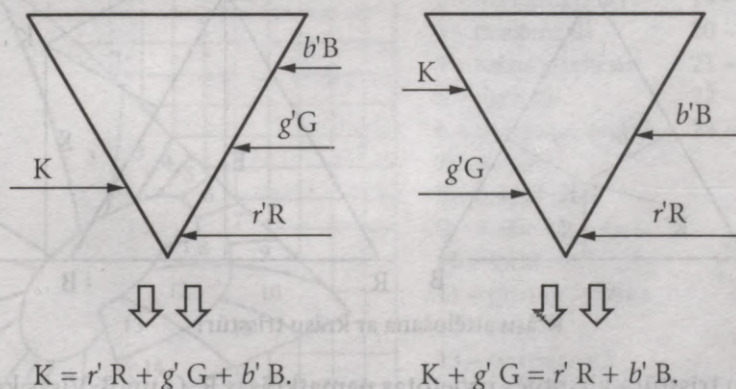
Vilhelms Ostvalds
(1853 – 1932)

Šāda kombinācija izlaidīs cauri zilo gaismu. Savukārt purpura un dzeltens filtrs būs caurspīdīgs sarkanai gaismai, bet debeszils un dzeltens – zaļai gaismai. Izmantojot vienlaikus visus trīs filtrus (purpura, dzelteni, debeszilo), ainas centrā, kur visi trīs filtri pārklājas, iegūst tumsu, t. i., melnu krāsu. Ja subtraktīvā ceļā jāiegūst kāda krāsa, tad balta gaisma jālaiž cauri gaismas filtram, kas absorbē iegūstamajai krāsai atbilstošo papildkrāsu.

Dabā ir sastopamas ne tikai nepiesātinātas krāsas, bet arī nespodrās – duļķainās krāsas, kuras rodas, ja hromatiskai krāsai piejauc melno. Plaši sastopamo brūno krāsu var radīt, sajaucot oranžo un pelēko. Arī no citām hromatiskām krāsām šādā veidā var iegūt daudz nespodru krāsu. Pēc speciālistu vērtējuma, atšķirīgu krāsu skaits var būt ap 10 000.

Krāsu mērīšana. Atbilstoši mūsdienu zinātnes un tehnikas attīstības līmenim nepieciešama kvalitatīva un kvantitatīva krāsu raksturošana, kas dotu iespēju jebkuru krāsu viennozīmīgi apzīmēt un atkārtoti izveidot. Ar šo jautājumu nodarbojas kolorimetrija – zinātne par krāsu mērīšanas metodēm. Mērot nosaka trīs skaitļus – krāsu koordinātas, kas pilnīgi raksturo krāsu noteiktos standartizētos apstākļos. Kolorimetrijas pamatā ir eksperimentāli atklātais fakts, ka jebkuru krāsu var iegūt, sajaucot triju neatkarīgu krāsu noteiktus daudzumus. Neatkarīgas ir tādas krāsas, kurām katru no komponentēm nevar iegūt, sajaucot pārējās divas komponentes. Šādu neatkarīgu krāsu grupu ir bezgalīgi daudz. Kolorimetrijā izmanto nedaudzas no tām. Plašāk izplatītā ir RGB sistēma, ko 1931. gadā pieņēmusi Starptautiskā apgaismojuma komisija. RGB sistēmā par pamatkrāsām izvēlētas trīs spektrālās krāsas, kuras raksturo viļņu garumi 700,0 nm, 546,1 nm un 435,8 nm. Sistēmas nosaukums – RGB – raksturo izvēlētas pamatkrāsas: R (*red*) – sarkans, G (*green*) – zaļš, B (*blue*) – zils.

Sarkanās krāsas gaismu R iegūst no kvēllampas, zaļās G un zilās B krāsas gaismas izdala no dzīvsudraba lampas spektra, kur tās ir intensīvākās līnijas. Mērījumiem par gaismas plūsmas vienībām izvēlas šādus gaismas daudzumus: sarkanai gaismai 683 lm, zaļai 3180 lm un zilai 43 lm, kam atbilst enerģētisko spožumu attiecības 72,1 : 1,4 : 1,0 (244; 4,8; 3,5 W). Pamatkrāsu RGB gaismas plūsmu vienības izvēlētas tā, lai to sajaukšanas gadījumā iegūtu baltu gaismu.



Krāsu salīdzināšana (krāsu saskaitīšana)

Pētāmo krāsu vai gaismu K var analizēt, izmantojot vizuālās fotometrijas metodi. Šajā gadījumā fotometra redzes lauka vienu pusi apgaismo pētāmais gaismas avots,

otru pusi – pamatkrāsu gaismas plūsmas, kuras var mainīt. Kad iegūts abu pušu vienāds apgaismojums, izmēra trīs pamatkrāsu daudzumus. Ja vienību lielus pamatkrāsu daudzumus apzīmē ar R , G un B , bet to daudzumus mērāmajā krāsā K ar r' , g' un b' , tad var uzrakstīt krāsu vienādojumu:

$$K = r' R + g' G + b' B.$$

Krāsu jaukšanas eksperimenti parādīja, ka virknei krāsu, lai panāktu abu redzes lauka pušu vienādību pēc spilgtuma un toņa, krāsai K jāpieliek vienas pamatkrāsas zināms daudzums. Ja krāsai K jāpieliek zaļā krāsa, tad krāsu vienādojums ir:

$$K + g' G = r' R + b' B.$$

Lai aptvertu visas krāsas, vienā gadījumā krāsai K jāpieliek zaļā, citā – sarkanā vai zilā krāsa. Pārnēsot krāsu komponenti $g' G$ uz labo pusi, iegūst:

$$K = r' R - g' G + b' B,$$

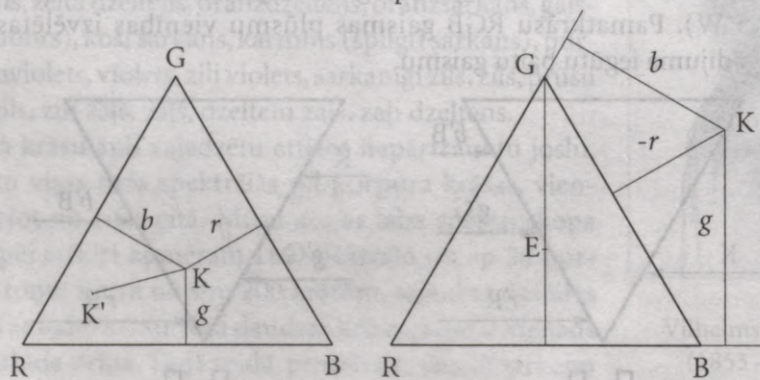
kur vienai krāsu komponentei ir mīnuszīme.

Pamatkrāsu vienības R , G un B ir konstanti lielumi, tādēļ krāsas K krāsainību un spožumu pilnīgi nosaka ar krāsu koeficientiem r' , g' un b' , kas ir mainīgi lielumi. Daudzos praktiski svarīgos gadījumos jānosaka gaismas avota vai arī no priekšmeta virsmas atstarotas gaismas plūsmas krāsas kvalitatīvie raksturlielumi. Šādā gadījumā ērti izmantot krāsu koeficientu relatīvās vērtības:

$$r = r' / (r' + g' + b'); \quad g = g' / (r' + g' + b'); \quad b = b' / (r' + g' + b').$$

Viegli pārlicināties, ka $r + g + b = 1$. Ja divi koeficienti ir zināmi, tad trešo var aprēķināt.

Ir zināms, ka perpendikulu summa, kas no patvaļīgi izvēlēta punkta vienādmalu trīsstūra iekšienē vai ārpus tā novilkta uz tā malām vai malu pagarinājumiem, ir vienāda ar trīsstūra augstumu. Tātad, ja vienādmalu trīsstūra augstumu izvēlamies vienlīdzīgu vienam, tad izvēlētais punkts atbildīs krāsai, kuras krāsainības koeficientus pārstāvēs perpendikuli uz trīsstūra malām. Tad jebkuru krāsu var attēlot grafiski ar punktu, kas atrodas vienādmalu trīsstūra iekšienē vai ārpus tā.



Krāsu attēlošana ar krāsu trīsstūri

Šāda krāsu trīsstūra virsotnēs izvietotas pamatkrāsas R , G un B . Visas krāsas, kuras var iegūt, jaucot pamatkrāsas R , G un B , novietosies krāsu trīsstūra iekšpusē. Perpendikuls, kas novilkts uz malas, kura atrodas pretī virsotnei ar pamatkrāsu R , izsaka krāsainības koeficientu r . Pārējie perpendikuli, kas novilkta uz malām pret virsotnēm ar

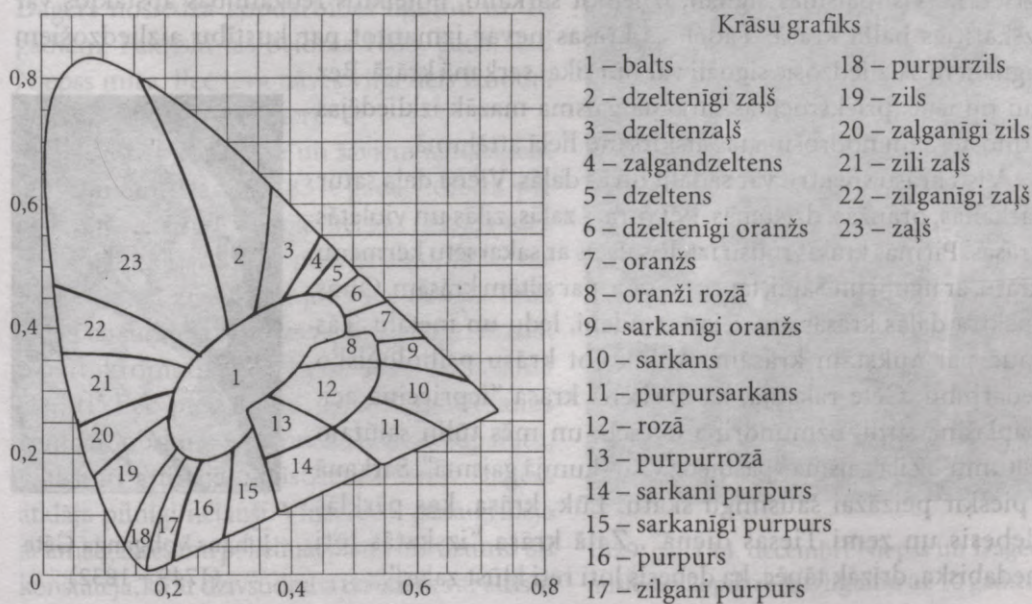
pamatkrāsu G un B, apraksta krāsainības koeficientus g un b . Šajā gadījumā visi trīs koeficienti r , g un b ir pozitīvi. Krāsas, kuras nevar iegūt tieši, jaucot pamatkrāsas R, G un B, atrodas ārpus krāsu trīsstūra. Tādā gadījumā perpendikuli, kurus novelk no krāsu punkta K uz trīsstūra malām, arī atbilst krāsainības koeficientiem un to summa ir viens, taču viens no koeficientiem ir negatīvs. Zīmējumā attēlots gadījums, kad negatīvs ir krāsainības koeficients r .

Pamatkrāsu gaismas plūsmas vienības R, G un B izvēlētas ar tādu aprēķinu, lai, tās sajaucot, iegūtu baltu gaismu. Baltu gaismu attēlo trīsstūra centrs, kur krāsainības koeficienti $r = g = b = 1/3$.

Sajaucot divas krāsas, kas attēlotas ar punktiem K un K', iegūst jaunu krāsu. Tā atrodas krāsu trīsstūrī uz taisnes KK'. Uz krāsu trīsstūra malām novietojas krāsas, kuras iegūst, sajaucot virsotnēs novietotās pamatkrāsas R, G un B, ņemot tās pa pāriem. Uz trīsstūra bisektrises atrodas krāsas, kuru tonis atbilst virsotnes pamatkrāsas tonim, bet tīrību nosaka baltās krāsas piemaisījums. Tā nogrieznim GE atbilst dažādas tīrības pakāpes zaļas krāsas, kuru tonis ir $\lambda = 546,1$ nm.

Lai grafiski attēlotu visas citas krāsas, jāzina to krāsainības koeficienti r , g un b . Pārējām spektrālajām krāsām šo koeficientu vērtības ieguva laboratoriskos mērījumos, kuros izmantoja redzamā spektra monohromatisku starojumu, mainot ar 5 nm lielu intervālu, un pamatkrāsu R, G un B avotus. Attēlā atainots krāsu trīsstūris ar spektrālo krāsu līniju, kas iegūta mērījumos. Skaitļi pie spektrālo krāsu līnijas norāda spektrālo krāsu gaismas viļņu garumus nm. Visas spektrālās krāsas, izņemot pamatkrāsas R, G un B, atrodas ārpus krāsu trīsstūra. Tad katrai spektrālai krāsai viens no krāsainības koeficientiem ir negatīvs. Iegūto figūru sauc par krāsu grafiku.

Uz līnijas, kas savieno sarkano krāsu ($\lambda = 700$ nm) ar violeto ($\lambda = 380$ nm), atrodas tīras purpura krāsas. Krāsu izvietojums krāsu grafikā parādīts attēlā.

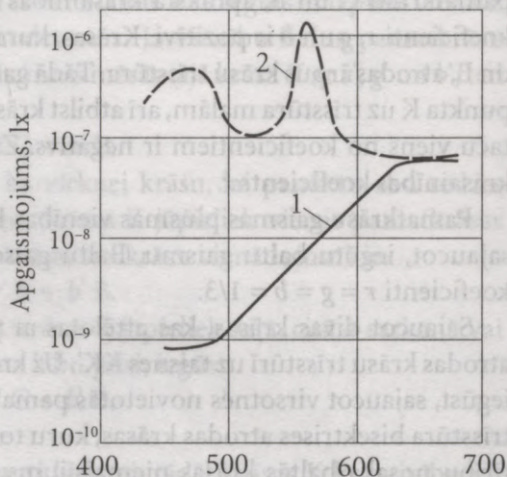


Krāsas signalizācijā. Krāsai ir milzīga nozīme signalizācijā, ko izmanto visu veidu transportā: pilsētas, dzelzceļa, ūdens un aviācijas. Dažādiem transporta veidiem izmanto atšķirīga skaita krāsu gaismas signālus atkarībā no vajadzības. Dzelzceļa transportā izmanto piecu krāsu signalizāciju: sarkano, dzelteno, zaļo, zilo un balto. Pilsētas transportā – trīs krāsas: sarkanu, dzeltenu un zaļu.

Sarkana krāsa nozīmē aizliegumu, bet zaļā – iešanas vai braukšanas atļauju. Šāda izvēle nav nejauša. Eksperimentāli ir pierādīts, ka, tuvojoties ļoti vājam zaļas gaismas avotam tik tuvu, lai apgaismojums uz acs zīlītes sasniegtu gaismas jutības sliekšni, gaismas avots novērotājam šķītis baltā krāsā, nevis zaļā. Būs sasniegts gaismas jutības sliekšnis zaļai gaismai. Un, tikai turpinot tuvojoties gaismas avotam līdz noteiktam attālumam, novērotājs atšķirs krāsu. Vismazāko apgaismojumu uz acs zīlītes, pie kura novērotājs ne tikai ierauga gaismu, bet atšķir arī tās krāsu, sauc par krāsu jutības sliekšni.

Augšējā attēlā dotas liknes, kas attēlo gaismas un krāsu jutības sliekšņus, novērojot monohromatiskus gaismas avotus tumsā. No liknēm redzams, ka ir atšķirība starp krāsu un gaismas jutības sliekšņiem visām gaismām, izņemot sarkano. Vislielākā atšķirība starp krāsu un gaismas jutības sliekšņiem ir zilai un dzeltenai zaļai gaismai. No šejienes izriet, ka visi gaismas signāli, izņemot sarkano, noteiktos redzamības apstākļos var izskatīties baltā krāsā. Tādēļ šīs krāsas nevar izmantot par kustību aizliedzošiem signāliem. Aizliedzošie signāli var būt tikai sarkanā krāsā. Bez jau minētās priekšrocības sarkanā gaisma mazāk izkļiedējas atmosfērā un nodrošina tās atšķiršanu lielā attālumā.

Visu krāsu spektru var sadalīt divās daļās. Viena daļa satur sarkanās, oranžās, dzeltenās, bet otra – zaļās, zilās un violetās krāsas. Pirmās krāsas mūsu iztēlē saistās ar sakarsētu ķermeņu krāsu, ar uguni un Sauli, tāpēc tās sauc par siltām krāsām. Otrās spektra daļas krāsas asociējas ar ūdeni, ledu un metālu. Tās sauc par aukstām krāsām. Aplūkojot krāsu psiholoģisko iedarbību, Gēte rakstīja, ka dzeltenā krāsa "iepriecina aci, paplašina sirdi, uzmundrina dvēseli, un mēs tūliņ sajūtam siltumu". Zila gaisma "pasniedz visu skumjā gaismā". Sarkanā "piešķir peizāžai šausmīgu skatu. Lūk, krāsa, kas pārklās debesis un zemi Tiesas dienā". Zaļā krāsa "izskatās ļoti nedabiska, drīzāk tāpēc, ka debesis ļoti reti kļūst zaļas".



1 – gaismas jutības sliekšnis, 2 – krāsu jutības sliekšnis maza izmēra gaismas avotam



Johans Volfganga Gēte
(1749 – 1832)

4. 4. Fotogrāfijas virzība no heliogrāfijas līdz hologrāfijai

Heliogrāfija, dagerotipija un kalotipija. Žozefs Nisefors Njepss (1765 – 1833), franču virsnieks, 1795. gadā aizgāja pensijā un sāka nodarboties ar eksperimentiem. Viņš interesējās par litogrāfiju, kurā par iespiedformu lietoja kaļķakmens plāksni. Vēlāk savos eksperimentos Njepss mēģināja kaļķakmens plāksni aizvietot ar citu minerālu. Njepss pārklāja akmeni ar asfalta slāni, kurā iegravēja zīmējumu un pēc tam kodināja. Viņš konstatēja, ka asfalts ir gaismas jutīgs. Turpmāk Njepss uzklāja akmens plāksnei arī citas vielas, lai tur kopētu caurspīdīgus zīmējumus. 1822. gadā Njepss iegravēja pāvesta Pija VII attēlu uz stikla plāksnītes, kas bija pārklāta ar asfalta kārtu. Neapgaismotās vietās Njepss asfaltu nomazgāja ar lavandas eļļas un petrolejas maisījumu. Tā radās pirmā fotogrāfiskā kopija. Tā nav saglabājusies.

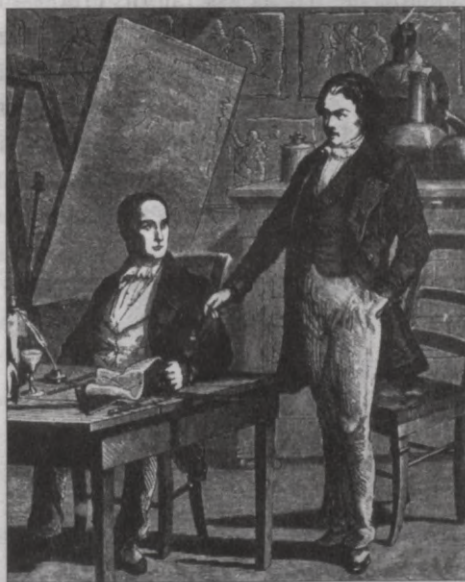
1826. gadā Njepss no savas darba istabas loga ieguva pagalma heliogrāfiju, kā viņš nosauca savu uzņēmumu. Aina pēc astoņu stundu ilgas ekspozīcijas ieguva uz cinka plāksnītes, kas pārklāta ar asfalta slānīti. Šā iemesla dēļ pagalma abās pusēs redzamas ēnas. Šī ir vecākā saglabājusies fotogrāfija. 1952. gadā tā nonāca angļu fotovēsturnieka H. Gernsheima kolekcijā. Lai ēnas kļūtu tumšākas un lai iegūtu skaidrākus attēlus, Njepss apstrādāja cinka un sudraba plates ar joda tvaikiem. Pietrūka tikai viena soļa, lai atklātu sudraba plāksnes jutības palielināšanos joda iespaidā.

Šajā laikā Njepss iepazinās ar gleznotāju Luiju Žaku Mandē Dagēru (1787 – 1851), kurš kopš 1822. gada nesekmīgi nodarbojās ar līdzīgiem meklējumiem. 1829. gada 14. decembrī Njepss un Dagērs noslēdza kopdarbības līgumu uz 10 gadiem. Faktiski tas beidzās 1833. gadā, kad Njepss mira. Pēc tēva nāves viņa dēls Izodors kļuva par Dagēra partneri.

Balstoties uz Njepsa un saviem agrākajiem pētījumiem, Dagērs 1831. gadā nonāca pie atklājuma, ka sudraba plēvīte, kas uzklāta vara plāksnītei, kļūst jutīga pret gaismu, ja to tur traukā kopā ar dažiem joda kristāliem. Joda tvaiki uz sudraba virsmas veidoja plānu (mazāk par mikrometru) dzeltenu sudraba jodīda slānīti. Pēc pietiekami ilgas eksponēšanas kamerā "obskurā", kā toreiz sauca fotoaparātu, plāksnīti attīstīja. Attīstīšanas lomu Dagērs atklāja pilnīgi nejauši. Viņš 1835. gadā gribēja ar amalgamēšanu palielināt plates mirdzumu un konstatēja, ka ar dzīvsudraba tvaikiem var attīstīt



Žozefs Njepss
(1765 – 1833)



1829. gadā 14. decembrī Njepss un Dagērs noslēdza kopdarbības līgumu uz 10 gadiem

slēpto attēlu. Tādējādi varēja daudzkārt samazināt eksponēšanas laiku. Taču tādā veidā iegūtie attēli nebija noturīgi. Tikai 1837. gadā viņš noskaidroja, ka ar sāls šķīdumu var attēlu daļēji fiksēt. Vēlāk pēc Dž. Heršela ieteikuma fiksēšanai izmantoja nātrija hiposulfātu.

D. Arago plates apstrādes procesu apraksta šādi: "Otrā traukā plāksnīti turēja dzīvsudraba tvaiku plūsmā, kas nāca no kapsulas, kurā šķidrums uz spirta lampas uzsildīts līdz 75 grādiem pēc 100 grādu skalas. Šie tvaiki ļoti ātri izraisa interesantu efektu: tie blīvi nosēžas uz tām plāksnītes vietām, kas ir bijušas spoži apgaismotas; tie atstāj nemainīgus ēnu rajonus; tie lielākā vai mazākā mērā nosēžas vietās, kur bija pusēna, proporcionāli to relatīvām intensitātēm."

Iegūto attēlu fiksēja nātrija hiposulfāta šķīdumā, kur neapgaismotais sudraba jodīds izšķīda. Beigās plāksnīti skaloja karstā destilētā ūdenī. Ar šo metodi uzreiz ieguva pozitīvu attēlu, ko varēja aplūkot atstarotā gaismā. Šo attēla iegūšanas metodi Dagērs nosauca par dagerotipiju. Pēc Dagēra lūguma 1838. gadā Arago jau 1839. gada 7. janvārī par šo atklājumu paziņoja Francijas Zinātņu akadēmijas sēdē. Francijas karalis Luijs Filips (1773 – 1850) 1839. gada 15. jūnijā parakstīja rīkojumu par ikgadēju 6000 franku lielas pensijas piešķiršanu Dagēram un 4000 franku – Njepsa dēlam Izodoram.

Tajā pašā laikā, 1834. gadā, Anglijā neatkarīgi no Njepsa un Dagēra fotografēšanu uzsāka Viljams Henrijs Fokss Talbots (1800 – 1877). Interese par šo jautājumu Talbotam radās Itālijā, kur viņš ar tumšās kameras palīdzību zīmēja dabas ainavas. Talbots pārklāja papīru ar sudraba hlorīdu un 1835. gadā izdara savu pirmo uzņēmumu. Vispirms viņš ieguva negatīvu, no kura pēc tam, kad papīrs bija padarīts caurspīdīgs, varēja kopēt pozitīvu. Šā uzņēmuma oriģināls glabājas Zinātņu akadēmijas bibliotēkas arhīvā Pēterburgā.



Viens no vecākajiem dagerotipiem.
Dagēra 1837. gada uzņēmums



Pagalma heliogrāfisks uzņēmums, ko 1826. gadā pēc astoņu stundu ilgas gaismošanas ieguva Njeps. Ilgā eksponēšanas laika dēļ pagalma abās pusēs redzamas ēnas



Arago 1839. gada 7. janvārī paziņo Francijas Zinātņu akadēmijas sēdē par dagerotipijas atklāšanu. Aiz galdā līdzās Arago sēž Dagērs un Njepsa dēls Izodors

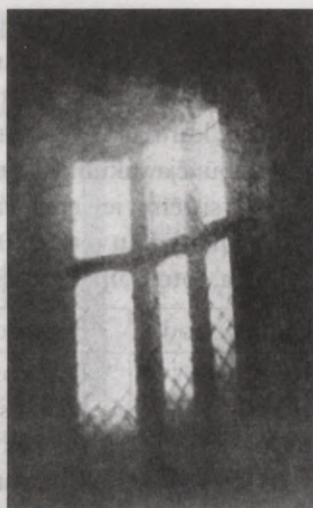
1839. gada 31. janvārī Talbots Londonas Karaliskajā biedrībā ziņoja par savu atklājumu. Talbots savu attēla iegūšanas metodi nosauca par kalotipiju. Atšķirībā no dagerotipijas kalotipijā vispirms ieguva negatīvu, no kura pēc tam varēja iegūt neierobežotu skaitu pozitīvos attēlus. Kalotipija ir mūsdienu negatīvi pozitīvās metodes pamatā. 1840. gadā Talbots atklāja, ka latentu jeb slēpto attēlu var attīstīt sudraba nitrāta un galluskābes šķīdumā un fiksēt ar kālija bromīdu. Vēlāk fiksēšanai izmantoja nātrija tiosulfātu. Autoram par godu kalotipiju vēlāk pārdēvēja par talbottipiju.

Fotogrāfijas progress 19. gadsimta beigu un 20. gadsimta sākuma periodā. Jaunu jutīgāku fotogrāfisko procesu 1850. gadā Francijā ieteica Gustavs Legrē (1820 – 1882) un 1851. gadā Anglijā Frederiks Skots Ārčers (1813 – 1857). Šajā procesā sērskābes un kālija nitrāta reakcijā (6 min, 60–80 °C) ar nelielu kokvilnas daudzumu (15 g uz litru) izgatavo augstvērtīgu nitrocelulozi. Pēc rūpīgas mazgāšanas un žāvēšanas nitrocelulozi sajauc ar spirta, ētera un dažādu kadmija un kālija jodīdu un bromīdu amonija šķīdumu maisījumu. Tādā veidā sagatavotu kolodiju uzklāj tīrām stikla platēm. Strauji iztvaicējot, uz plates paliek plāns, vienmērīgs kolodija slānis, kurš piesūcināts ar jodīdiem un bromīdiem. Kad slānis izžuvis, to ievieto sudraba nitrāta šķīdumā, kas piesātināts ar sudraba jodīdu. Jodīdi un bromīdi, kas atrodas kolodijā, savienojoties ar sudrabu, veido sudraba sāļus.

Šādi sagatavotu gaismas jutīgu materiālu vajadzēja izmantot nekavējoties, kamēr tas bija mitrs. Izžāvēts tas kļuva apmēram 10 reižu mazjutīgāks, bet ekspozīcijas laiks bija ierobežots: 10 – 15 minūtes. Attēlu attīstīja etiķskābes un divvērtīgās dzelzs sulfāta šķīdumā, kuram piejauca spirtu, lai atvieglotu šķīduma iekļūšanu kolodijā. Attēlu varēja pastiprināt sudraba nitrāta šķīdumā.

Turpmākajos gados fotogrāfiskais process attīstījās. Realizējās pāreja no slapja gaismas jutīga materiāla, ko pagatavo tieši pirms lietošanas, uz sausu materiālu, kas tika pagatavots iepriekš un varēja glabāties tumšā. Želatīna emulsiju pirmais izmantoja anglis Rihards Medoks 1871. gadā. Filmu izgatavošanu uzsāka amerikāņu izgudrotājs Hanibals Gudvins (1822 – 1900) 1887. gadā, izmantojot nitrocelulozes lenti.

1873. gadā vācu zinātnieks Hermans Fogels (1834 – 1898) atklāja optisko sensibilizāciju. Emulsijas spektrālās jutības rajonu var paplašināt, ievadot emulsijā krāsvielas, kuras absorbē gaismu garāko viļņu rajonā, nekā izmantojot tikai tīrus sudraba halogenīdus. Infrahromatiskie materiāli ir jutīgi pat 1,2 – 1,3 μm rajonā. Tālāka jutības pārbīde uz garo



Talbota pirmais uzņēmums
1835. g.



Frederiks Skots Ārčers
(1813 – 1857)

viļņu pusi nav iespējama, jo pastāv līdzsvarotais siltumstarojums, kas nepārtraukti darbojas uz emulsiju, veidojot plīvuru. 1901. gadā vācu fiziķis Viktors Šūmans (1841 – 1913) izstrādāja speciālas bezželatīna fotoplates spektra tālajam ultravioletajam 1200 – 2500 Å rajonam, kuras dēvē par Šūmana platēm. Šūmans ir vakuumspektroskopijas pamatlicējs. Viņš uzbūvēja vakuuma spektrogrāfu, prizmu un lēcu izgatavošanai izmantojot fluorītu. Optisko sistēmu ievietoja vakuumā, lai aizsargātos no absorbcijas gaisā.

Fotomateriālu jutība 100 gadu laikā palielinājusies vairāk nekā 10 000 reīzu. No šā viedokļa, fotogrāfijas attīstību var iedalīt vairākos periodos.

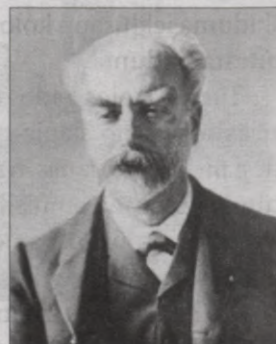
Laika periods	Fotoprocesa (emulsijas) nosaukums	Jutība, rel. vien.
1839 – 1851	Dagerotipija	0, 1 – 10
1851 – 1879	Slapjais kolodija process	50 – 100
1879 – 1887	Pirmās sudraba bromīda emulsijas	1000 – 2000
1887 – 1939	Uzlabotas sudraba bromīda emulsijas	2000 – 10 000
1939 – 1959	Hipersensibilizētas emulsijas	10 000 – 30 000

Kā tapa krāsu fotogrāfija? Vēlme iegūt krāsainus attēlus radās jau pirms dagerotipijas atklāšanas. Ja objektīvs projicē krāsainu ainu, kādēļ gan attēlam jābūt savādākam? Tajā laikā jau bija pazīstami ķīmiskie savienojumi, kas ieguva tādu krāsu, kāda bija krītošai gaismai. 1810. gadā vācu fiziķis Tomass Zēbeks (1770 – 1831), kurš kopā ar Gēti nodarbojās ar krāsu teoriju, pārklāja papīru ar mitru sudraba hlorīdu un gaismoja 15 minūtes prizmas spektrā. Sudraba hlorīds nedaudz iekrāsojās dažās spektra krāsās. Savukārt Dagērs nesekmīgi centās iegūt krāsainus attēlus, izmantojot dažādus fosforescējošus materiālus. Labākus rezultātus guva franču fiziķis Aleksandrs Bekerels (1820 – 1891), kurš 1847. gadā reģistrēja Saules spektru uz dagerotipa plāksnītes, kas pārklāta ar sudraba hlorīdu. Viena no viņa iegūtajām fotogrāfijām glabājas Londonas Zinātņu muzejā.

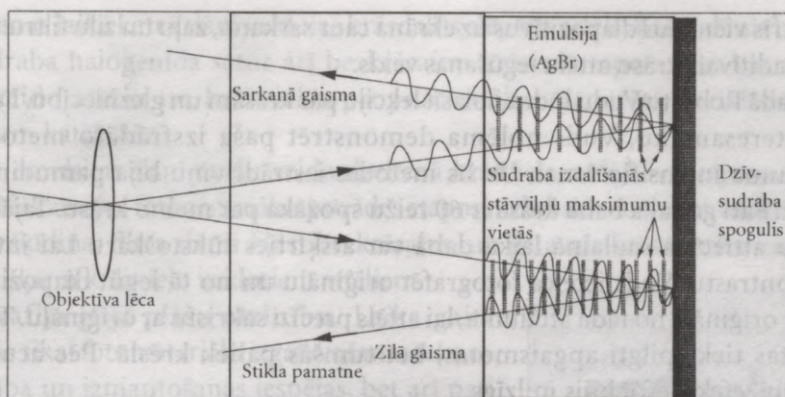
Njepsa radnieks K. Njepss de Saint-Viktors (1805 – 1870) turpināja Bekerela uzsākto darbu un stabilizēja krāsas ar lakas palīdzību. Tajā pašā gadā amerikāņu fotogrāfs L. Hils ziņoja par krāsainās dagerotipijas atklāšanu. Ieinteresējis sponsorus, Hils izveidoja 15 000 dolāru lielu fondu metodes pilnveidei. Taču neviens nespēja viņa rezultātus atkārtot un Hilu atzina par blēdi. Taču samērā nesēn D. Budro (ASV) ieguva krāsainus attēlus pēc Hila rekomendācijām.

1868. gadā vācu fiziķis V. Zenkers izskaidroja krāsu rašanos Zēbeka un Bekerela uzņēmumos ar gaismas viļņu interferenci, atstarojoties no pamatnes.

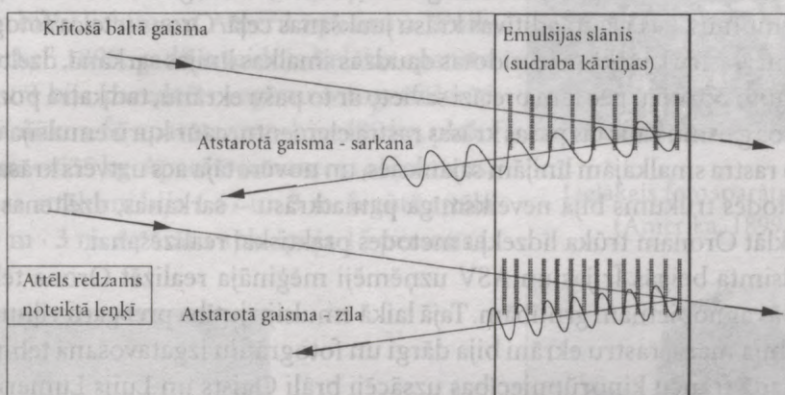
1891. gadā franču fiziķis Gabriels Lipmanis (1845 – 1921) izstrādāja krāsainās fotogrāfijas metodi, kas pamatojās uz gaismas interferenci. Viņš biežā melnbaltā emulsijā reģistrēja dažāda viļņu garuma starojuma veidotos stāvviļņus. Stāvviļņu lauks veidojās, pārklājoties tiešajam, no gaismas avota nākošajam vilnim ar atstaroto vilni. Atstarotais vilnis Lipmaņa eksperimentā veidojās, gaismas avota vilnim atstarojoties no dzīvsudraba spoguļa, kurš pieskārs tieši fotoemulsijai.



Gabriels Lipmanis
(1845 – 1921)



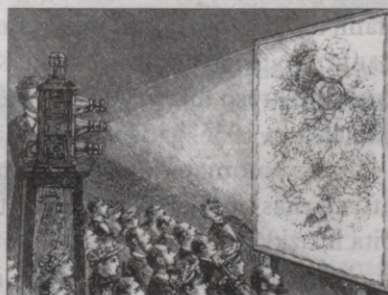
Interferences ainas veidošanās emulsijā pēc Lipmaņa metodes



Stāvviļņu blīvumu izvietojumu shematisks attēlojums emulsijā. Attālums starp joslām ir vienāds ar pusi no viļņu garuma (200 – 300 nm), emulsijas biezums ~ 0,02 mm

Gaismas intensitātes sadalījums interferences ainā, kas veidojas emulsijā, ir atkarīgs no viļņu garuma. Pēc eksponētā negatīva parastās ķīmiskās apstrādes emulsijā varēja novērot periodisku nomelnojuma slāņu struktūru. Apgaismojot negatīvu ar baltu gaismu, bija redzama gaismas difrakcija. Difrāgētās gaismas interferences dēļ no Lipmaņa plāksnītes atstarosies gaisma, kas pēc spektrālā sastāva sakrītīs ar ieraksta stadijā izmantoto gaismu. Lipmanis ieguva Saules spektra krāsainu fotogrāfiju. Šo metodi izmantoja komerciāliem nolūkiem līdz pat 1907. gadam. 1908. gadā Lipmanis par saviem pētījumiem saņēma Nobela prēmiju.

Iepriekš minētajos gadījumos krāsas ieguva tiešā ceļā. 1801. gadā Jungs Londonas Karaliskajā biedrībā izklāstīja trīs krāsu redzes teoriju. Uz šīs teorijas pamata radās netiešā krāsu attēlu iegūšanas metode. Pirmais šo metodi izmantoja Maksvels, kurš 1861. gadā Londonā demonstrēja attēlus, kurus ieguva,



Maksvels 1861. gadā Londonā demonstrē krāsainus attēlus

projicējot trīs vienādus diapozitīvus uz ekrāna caur sarkanu, zaļu un zilu filtru. Tātad tika izmantots aditīvais krāsu attēlu iegūšanas veids.

1908. gadā Robertu Vudu lūdza nolasīt lekciju par krāsām un glezniecību. Lai padarītu lekciju interesantāku, Vuds nolēma demonstrēt paša izstrādāto metodi gleznu apgaismojuma intensificēšanai. Uz šīs metodes izstrādi viņu bija pamudinājuši dažī apsvērumi. Pati gaišākā baltā krāsa ir 60 reižu spožāka par melno krāsu. Tajā pašā laikā intensitāšu attiecība saulainā laikā dabā var atšķirties tūkstoškārt. Lai intensificētu gaismas kontrastu, Vuds ieteica fotografēt oriģinālu un no tā iegūt diapozitīvu un to projicēt uz oriģināla no tāda attāluma, lai attēls precīzi sakristu ar oriģinālu. Tad gleznas gaišās vietas tiek spilgti apgaismotas, bet tumšās paliek krēslā. Pēc aculiecinieku atsauksmēm, efekts esot bijis milzīgs.

1862. gadā, gadu pēc Maksvela eksperimenta, 25 gadus vecais francūzis Luijs Diko de Orons pievērsās krāsu fotogrāfijai. 1869. gadā viņš Parīzes fotogrāfu biedrībā demonstrēja krāsu uzņēmumus, kas iegūti aditīvas krāsu jaukšanas ceļā. Orons ieteica fotografēt caur stikla ekrānu (rastru), uz kura izveidotas daudzas smalkas līnijas sarkanā, dzeltenā un zilā krāsā. Ja iegūto pozitīvu pēc tam precīzi savieto ar to pašu ekrānu, tad katra pozitīvā attēla zona atstaro gaismu caur tās pašas krāsas rastra elementu, caur kuru emulsija eksponēta. Gaisma no rastra smalkajām līnijām sajauksies, un novērotāja acs uztvers krāsainu attēlu. Orona metodes trūkums bija neveiksmīga pamatkrāsu – sarkanas, dzeltenas un zilas – izvēle. Turklāt Oronam trūka līdzekļu metodes praktiskai realizēšanai.

19. gadsimta beigās Īrijas un ASV uzņēmēji mēģināja realizēt Orona tehnoloģiju, taču sastapās ar nopietnām grūtībām. Tajā laikā emulsiju jutība pret garo viļņu starojuma iedarbību bija maza, rastru ekrāni bija dārgi un fotogrāfiju izgatavošana tehniski grūta.

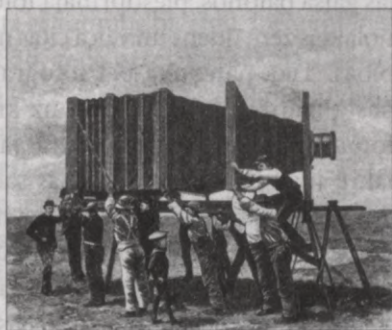
1907. gadā franču kinorūpniecības uzsācēji brāļi Ogists un Luijs Lumeri pārvarēja šīs grūtības, izstrādājot t. s. autohromo procesu. Viņi izmantoja panhromatiskās fotoemulsijas, kurām ir aptuveni vienāda jutība visā redzamajā spektra daļā. Dārgā rastra ekrāna vietā Lumeri izmantoja plānu kartupeļu cietes slānīti, kas sastāvēja no sarkaniem, zaļiem un ziliem graudiņiem. Šādi iegūtās fotogrāfijas darbojās pēc Orona ieteiktā principa. Autohromo procesu izmantoja komerciālajā fotogrāfijā gandrīz trīsdesmit gadus, kad to izkonkurēja subtraktīvais fotografēšanas process, kura izstrādi veica L. Diko de Orons un Š. Kross. 1897. gadā viņi izveidoja t. s. "tripaku". Tā bija stikla plāksnīte, pārklāta ar sudraba bromīda slānīti (jutīgs zilā gaismā), dzeltenu filtra slāni, kas laiž cauri zaļo un sarkano gaismu, zaļā gaismā jutīgu slāni, sarkanu filtru un panhromatiskas emulsijas slāni. Krāsu fotogrāfiju plašāk izmantoja pēc tam, kad ieviesa trīsslāņu krāsu fotomateriālus, kurus 1935. gadā sāka ražot amerikāņu firma "Eastman Kodak" un 1936. gadā vācu firma "Agfa".

Šajos fotomateriālos krāsainais attēls veidojas no organiskām krāsvielām krāsu attīstīšanas procesā. Trīsslāņu fotomateriālos uz stikla vai celuloīda pamatnes cits virs cita ir uzklāti emulsijas slāņi. Virsējais slānis ir nesensibilizēta emulsija, kas jutīga pret spektra zilo daļu. Vidējais slānis ir jutīgs pret zilo un zaļo, bet apakšējais – pret zilo un sarkano gaismu. Lai katrs slānis gaismas jutības ziņā atbilstu tikai vienai spektra zonai, starp virsējo un vidējo slāni atrodas dzeltens filtra slānis, kas absorbē spektra zilo daļu.

Ekspozīcijas laikā katrā slānī veidojas krāsdalīts slēptais attēls. Katrs slānis bez gaismas jutīgā sudraba halogenīda satur arī bezkrāsainu krāsu komponentu, kas attīstīšanas procesā veido attēlu no krāsvielas proporcionāli reģenerētā metāliskā sudraba daudzumam katrā slānī.

Viršējā emulsijas slānī attēlu veido dzeltenā krāsvielā, vidējā – purpura, apakšējā – debeszilā. Nākamajos fotomateriāla apstrādes etapos melnbalto attēlu, ko veido metāliskais sudrabs, izšķīdina, filtra slānis kļūst bezkrāsains, un gatavais krāsu attēls summējas no trim atsevišķiem krāsvielu veidotiem attēliem.

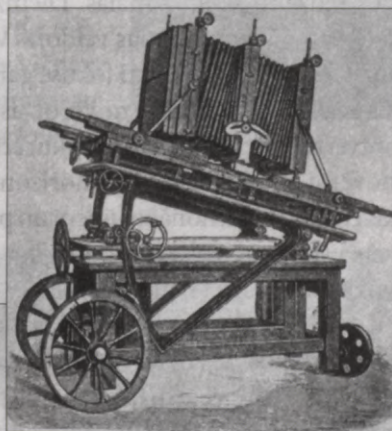
Fotogrāfija gūst plašu atzinību. Laika gaitā mainījās ne tikai fotomateriālu izgatavošanas tehnoloģija, jutība un izmantošanas iespējas, bet arī pati fotoaparātūra. Sākumā uzņēmumi netika palielināti un fotoaparātu izmēri pieauga proporcionāli vēlamajam bilžu lielumam. Amerikāņu firma "Pullman – Werke" 1899. gadā izveidoja lielāko aparātu pasaulē, kurš bija paredzēts vagonu fotografēšanai reklāmas nolūkos. Šā aparāta svars bija 480 kg, plašu kasetes svars – 635 kg. Aparātā izmantoja objektīvus, kuru fokusa attālumi bija 1,67 un 3 m. Iegūtā attēla izmēri 2,5 m · 3 m. Aparātu apkalpoja 15 personas.



Lielākais fotoaparāts pasaulē
(Amerika, 1899. g.)



Prāgas fotogrāfs J. Ekerts ar savu
ceļojuma laboratoriju (1875. g.)



Aparāts tehniskiem
precizitātes
uzņēmumiem
(1885. g.)



Fotografēšanai
no gaisa izmantoja
pasta balodi

19. gadsimta otrajā pusē fotografēšana kļuva ļoti iecienīta. Lielākajās pilsētās radās speciāli ateljē klientu apkalpošanai. Tika izveidoti neliela formāta viegli pārnēsājami fotoaparāti, kurus izmantoja ceļojoši fotogrāfi, kas bija apgādāti ar ķimikālijām un visu nepieciešamo fotogrāfiju izgatavošanai.

Lai iegūtu oriģinālus uzņēmumus, fotogrāfi pacēlās gaisa balonos, piestiprināja fotoaparātus pūķiem, nolaidās zem ūdens un veica citas netradicionālas darbības. Tika patentēta pat fotografēšanas metode ar pasta baloža plīdzību, kam uz krūtīm nostiprināts fotoaparāts. Pateicoties fotogrāfijai, ir fiksēts bagātīgs faktu materiāls praktiski visās sadzīves un kultūras jomās, kam ir milzīga vēsturiska nozīme.

Peldētājam, kurš ieniris ūdenī un lūkojas uz augšu caur mierīgu ūdens virsmu, šķiet, ka viņš skatās uz tumšiem griestiem ar apaļu spoži apgaismotu logu tieši virs galvas. Visas debesis no horizonta līdz horizontam ir saspīestas šajā logā, un priekšmeti, kas apņem ūdens krātuvi – koki, mājas, makšķernieki u. c., būs redzami šā apla malās. Diemžēl, ienirstot ūdenī, uz ūdens virsmas veidojas viļņi, un acs, nirstot bez maskas, slikti fokusē gaismas starus. Tāpēc nav iespējams novērot asu ainu, kas aptvertu 180°. Nirstot ar masku, arī ir bezcerīgi novērot šo ainu. Starī no horizonta, kuri tiek laužti lielā leņķī, nonākot ūdenī un pēc tam izejot cauri stiklam, izplatās sākotnējā, t. i., pieskares virzienā. Šie starī nenonāk acī.

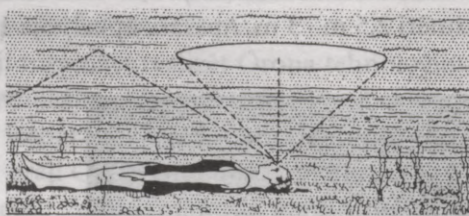
Ir iespējams iegūt asu ainu, kas aptvertu visus 180°, ja ūdenī iegremdētu fotokameru ar plati, objektīvu un visu pārējo nepieciešamo. Nogaidot momentu, kad norimst viļņi ūdens virspusē, var izdarīt uzņēmumu. Iegūtā aina būs tāda, kādu to redz zivs. Šādu kameru 1906. gadā konstruēja un izmēģināja Roberts Vuds. Par pirmo objektu viņš izvēlējās dzelzceļa tiltu. Šī aina dod priekšstatu par to, kā tiltu redz zivs, kas peld zem tā mierīgā ūdenī.

Neiztika bez visai kurioziem atgadījumiem. Kāda amerikāņu fotogrāfu grupa 1960. gadā, lai iegūtu Heopsa piramīdas krāsu attēlu naktī, izmantoja 6500 zibspuldzes, kabeļu tīklu 21 km garumā un iztērēja ap 10 000 dolāru.

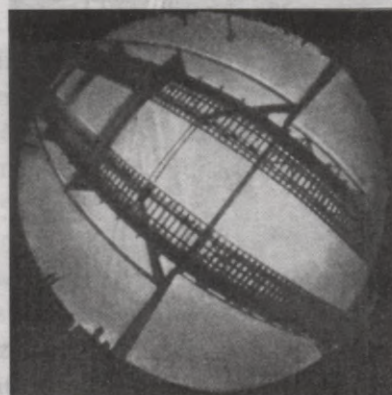


H. Daumiera zīmējums.

Franču gleznotājs, rakstnieks un fotogrāfs G. Tournahorns-Nadars fotografē no balona 300 m augstumā (1858. g.)



Peldētājam, kurš ieniris ūdenī un lūkojas uz augšu caur mierīgu ūdens virsmu, šķiet, ka viņš skatās uz tumšiem griestiem ar apaļu spoži apgaismotu logu tieši virs galvas



Tā zivs redz tiltu no ūdens apakšas

Fotogrāfijas izmantošana astronomijā. Fotogrāfijas rašanās stipri ietekmēja daudzas zinātnes un kultūras jomas. Visjūtāmāk tas bija astronomijā, kur fotogrāfija un spektroskopija ļāva pārvarēt milzīgās grūtības tās attīstības ceļā. Svarīgākās no tām bija vāju gaismas plūsmu reģistrēšana, milzīgā zvaigžņu daudzuma uzskaitē un klasificēšana. Uz astronomijas, fotogrāfijas un spektroskopijas bāzes radās astrofizika.

Jau Arago, kurš 1839. gada 7. janvārī Parīzes akadēmijas iknedēļas sapulcē paziņoja par Njepsa un Dagēra izgudrojumu, apjauta fotogrāfijas iespējas astronomijā. Arago rakstīja, ka jau daudzus gadus kopā ar Laplasu un Mālsu centies iegūt Mēness attēlu, projicējot to ar lēcu uz ekrāna, kura virsma bijusi pārklāta ar sudraba hlorīdu. Lielu interesi par fotogrāfiju izrādīja arī Džons Heršels. Viņš kopš 1835. gada uzmanīgi sekoja Talbota eksperimentiem, kurš centās iegūt fotokopijas tiešā ceļā (bez attīstīšanas), izmantojot lielu apgaismojumu vai ilgu ekspozīciju. Heršels pirmais izmantoja terminu "fotogrāfija".

Pirmo sekmīgo Mēness uzņēmumu 1840. gada martā ieguva amerikāņu fiziologs D. Dreipers Ņujorkā. Uzņēmumam bija nepieciešamas 20 minūtes. Pēc 10 gadiem – 1850. gadā, kad fotomateriālu jutība bija palielinājusies, V. Bonds – Hārvarda observatorijas pirmais direktors – ieguva labas Mēness dagerotipu sērijas. Bonds izmantoja 38 cm refraktoru, kas, tāpat kā Pulkovas observatorijas refraktors, bija lielākais pasaulē. Mēness attēla diametrs sasniedza 12 cm. Uzņēmums 1851. gadā bija izstādīts Vispasaules izstādē Londonā.

Angļu astronoms Vorens Delarī (1815 – 1889) izgatavoja Mēness uzņēmumu stereoskopisku pāri, kurā labi redzama Mēness lodveida forma. Tādu stereoskopisku efektu var izskaidrot ar Mēness librāciju, kas izraisa redzamā diska nelielu pārvietojumu



Vorens Delarī
(1815 – 1889)



Vorena Delarī iegūtais Mēness uzņēmumu stereoskopiskais pāris

un ko Delarī ieguva, kombinējot Mēness uzņēmumus. Pa labi redzamais uzņēmums izdarīts 1858. gada februārī, bet pa kreisi – 1859. gada septembrī.

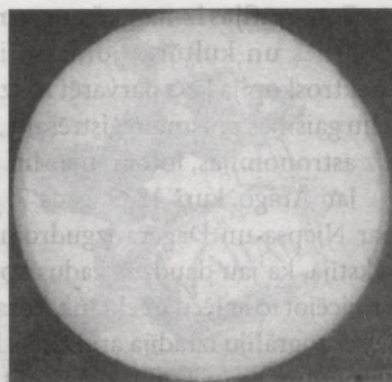
Pirmo labo Saules uzņēmumu pēc Arago ieteikuma ieguva I. Fizo un L. Fuko 1845. gada 2. aprīlī, izmantojot 1/60 s ilgu ekspozīciju. Saules diska diametrs attēlā bija 12 cm. Dagerotipā bija labi redzami plankumi un diska malu ēnojums.

1854. gadā Dž. Heršels ieteica katru dienu fotografēt Sauli, lai reģistrētu tās plankumus. Šo ideju realizēja 1858. gadā, kad Londonas tuvumā uzbūvēja fotoheliogrāfu. No 1858. līdz 1872. gadam ar šo instrumentu ieguva 3000 Saules virsmas fotogrāfiju, pēc kurām veica Saules plankumu un aktivitātes pētījumus.

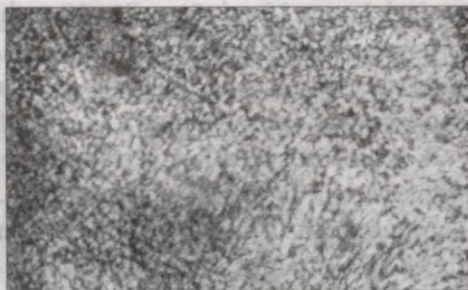
1876. gadā Francijā dibinātās Medonas observatorijas direktors Pjērs Žansēns ieguva vairākus tūkstošus Saules fotogrāfiju. Mierīgas atmosfēras gadījumā ir labi redzamas fotosfēras granulas, kuru vidējais diametrs ir 1–3 loka sekundes, kas veido 700–2000 km. Saules attēlu ieguva 1877. gada 1. jūlijā, un tajā redzamā Saules diska diametrs bija 30 cm. Šā attēla iegūšanā izmantoja kolodija procesu. Vēlāk, 10. oktobrī, ar 135 mm heliogrāfu ieguva Saules uzņēmumu mērogā, kur attēla diametrs sasniedza jau 2 m.

Viens no pirmajiem Saules aptumsuma uzņēmumiem tika izdarīts 1851. gada 28. jūlijā. To Kēnigsbergā (tagadējā Kaļiņingradā) ieguva vācu astronoms Berkovskis ar 15,6 cm heliometru. Izmantotā objektīva fokusa attālums bija 78,5 cm, ekspozīcija 24 s. Uzņēmumā redzama protuberance un iekšējā korona. Uzņēmumā, kas iegūts uz slapjās kolodija plates Saules aktivitātes maksimuma periodā 1871. gada 12. decembrī, labi redzama Saules korona. Šis uzņēmums izdarīts Indijā, Beikulā, lorda Lindseja ekspedīcijas laikā ar 12 cm objektīvu, kura fokusa attālums 84 cm.

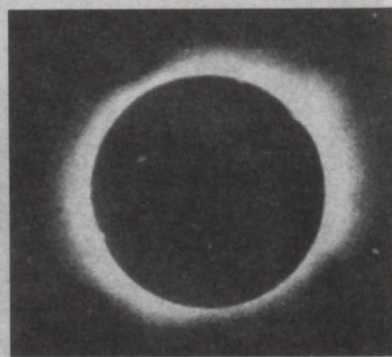
Kopš šā laika Saules aptumsumus izmanto, lai pētītu koronas izmēru, formas un stāvokļa izmaiņas atkarībā no Saules aktivitātes fāzes un elektromagnētiskajām parādībām.



Saules attēls, ko 1845. gadā ieguva I. Fizo un L. Fuko Parīzes observatorijā



Žansēna Saules virsmas uzņēmums, kas izdarīts 1877. gada 1. jūlijā. Labi redzamas fotosfēras granulas, kuru vidējais diametrs ir 700–2000 km



1851. gada 28. jūlija pilnā Saules aptumsuma dagerotips, ko ieguvis vācu astronoms Berkovskis

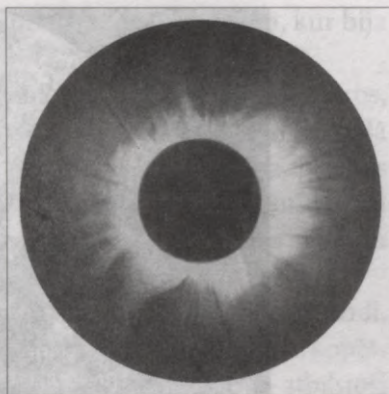
Fotogrāfiju plaši izmantoja 1874. un 1882. gada ekspedīcijās, lai novērotu Veneru, kad tā šķērsoja Saules disku, Saules paralaksēs noteikšanai.

Vienlaikus ar fotomateriālu jutības robežu paplašināšanos ne tikai sarkanajā daļā, bet arī ultravioletajā (UV) un infrasarkanajā (IS) rajonā sākās šo rajonu praktiskā apgūšana. Vuds jau 1902. gadā izgatavoja UV filtru, kombinējot zilo kobalta stiklu un nitrozodimetilanilīna šķīdumu. Ar šāda filtra palīdzību Vuds fotografēja dabasskatus un Mēnesi UV staros. 1902. gadā Baltimorā Nacionālās akadēmijas sēdē viņš demonstrēja, kādus efektus var iegūt, fotografējot "melnā gaismā". Kontrasts starp apgaismotiem un neapgaismotiem Mēness rajoniem, fotografējot UV staros, ir lielāks, nekā fotografējot redzamā gaismā. Zemes ainavu fotogrāfijās efekts ir pretējs. Pilnā Saules apgaismojumā gandrīz pilnīgi izzūd ēnas, ja fotografēšana veikta UV staros. Tas liecina, ka lielākā UV staru daļa nāk no zilajām debesīm, nevis tieši no Saules.

Vuds izmantoja kvarca lēcu, kas pārklāta ar plānu sudraba slānīti un samērā labi laiž cauri šauru UV spektra daļu, bet ir necaurspīdīga pārējam spektram. Uzņēmumos, kas izdarīti caur sudraba filtru, cilvēks, ko apgaismo Saule, ir bez ēnām. Atsevišķi ainavas pauguri, kas labi saskatāmi ar acīm, nebija redzami ultravioletajos staros: tos aizsedza atmosfēras dūmaka. Vēlāk Vuds fotografēja ainavu ar infrasarkanu staru filtru. Šajos uzņēmumos labi iezīmējās visi pakalni ar visām detaļām un ēnām pat dienās, kad dūmaka bija tik stipra, ka detaļas vizuāli nebija novērojamas. Šāda veida fotogrāfijas Vuds pirmais pasaulē ieguva 1908. gadā.

1909. gada vasarā Vuds veica Mēness fotografēšanas eksperimentus UV staros. Viņš pierādīja iespēju Mēness virsmas pētīšanai izmantot fotografēšanu monohromatiskā gaismā. Pirmais ziņojums par šo tēmu tika iesniegts Lielbritānijas Karaliskajai astronomijas biedrībai, bet žurnālā "Monthly Notices" publicēts raksts.

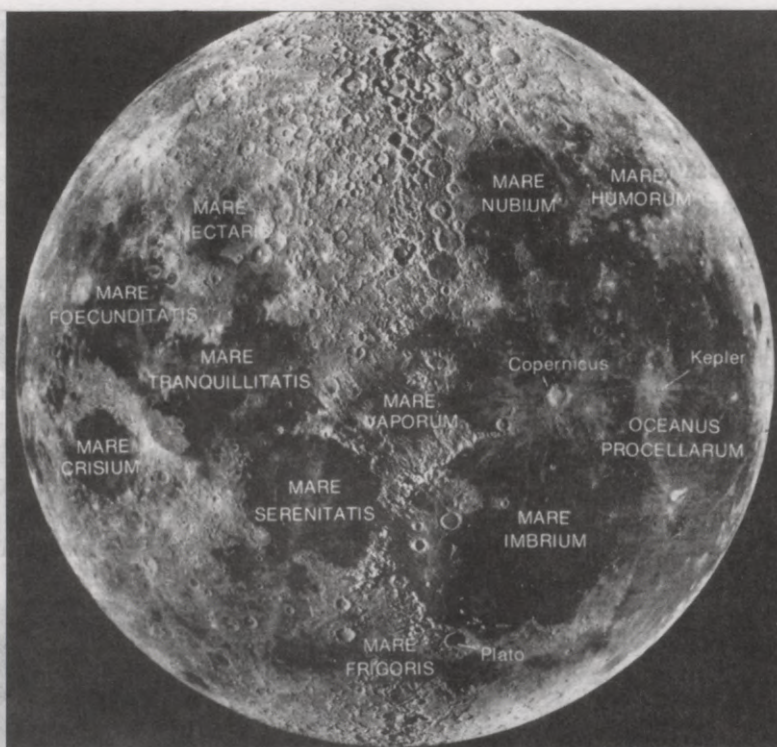
"Pirmos eksperimentus es veicu vasaras laboratorijā Īsthemptonā, Longailendā, Ņujorkas štatā, ar steigā improvizētu instrumentu. Plāns sudraba slānis, kas necaurspīdīgs redzamai gaismai, pilnīgi brīvi laida cauri UV starus ar viļņu garumu 3000 Å, bet šos starus aizturēja stikls – tāpēc bija nepieciešama kvarca lēca. Teleskops fotografēšanai



1871. gada 12. decembra pilnā Saules aptumsuma uzņēmums. Redzamā korona atbilst Saules plankumu maksimumam



Uzņēmums redzamā gaismā (pa kreisi) un caur infrasarkanu filtru (pa labi)



Mēness redzamā puse. Lai labāk novērotu detaļas, kas slikti redzamas pilnmēness laikā, Līka observatorijā izgatavots kombinēts uzņēmums, kas izveidots no pirmā un trešā ceturkšņa fotogrāfijām

bija veidots no trīs collu kvarca lēcas, kas pārklāta ar sudrabu. Lēcas fokusa attālums – 6 pēdas, tā piestiprināta cinkotas dzelzs krāsns caurules vienā galā ar speciālu kaseti otrā galā. Tas viss bija savienots ar piecu pēdu teleskopu, kurš kalpoja, lai sekotu Mēnesim trīs minūšu ilgajā ekspozīcijā. Tie abi bija nostiprināti uz ekvatoriāla no veca velosipēda rāmja, kas novietots uz cementa plāksnes tā, lai priekšējās dakšas ass būtu vērsta virzienā uz Polārzvaigzni. Ar lēnu kustību man izdevās iegūt ekspozīciju dažas minūtes, ja tas bija nepieciešams... Netālu no Aristarha krātera es atklāju plašas vielas iegulas, kas UV staros ir tumšas. Šīs iegulas tik tikko atšķiramas uzņēmumos, kas izdarīti dzeltenā gaismā, un ir gandrīz melnas uzņēmumos, kuri iegūti gaismā ar ierobežotu viļņu garumu rajonā ap 3000 Å.

Laboratorijā izdarītie eksperimenti parādīja, ka daudzas vielas, kas ir baltas parastā gaismā, ir pilnīgi melnas, ja tās fotografē šajos īsviļņu staros. Ķīniešu baltums (cinka oksīds) un daudzas baltas krāsas ir tam labi liecinieki. Šīs krāsas bija gandrīz neredzamas uz sniega fona un nebūtu redzamas parastās fotogrāfijās, bet ir pilnīgi skaidri saskatāmas uzņēmumos, kas izdarīti ar sudraba plēvīti pārklātu kvarca objektīvu.”

1911. gada vasarā Vuds iegādājās un uzstādīja Īsthempnā parabolisku spoguli, kura diametrs bija 16 collu un fokusa attālums 26 pēdas. To savienoja ar lielu celostatu. Celostata spogulis ar pulksteņa mehānisma palīdzību sekoja Mēnesim un virzīja gaismas

kūli paraboliskajā reflektorā, kurš savukārt veidoja Mēness attēlu savā fokusā, kur bija iemontēts UV filtrs un kasete ar fotoplāti.

Vuds raksta: "Mēs fotografējām Mēnesi oranžos, violetos un ultravioletos staros, turklāt pēdējie deva tumšu ēnojumu, kas izteikti aptvēra Aristarha krāteri. Tai pašā laikā "oranžie" uzņēmumi neatklāja pat tā pēdas. Eksperiments parādīja, ka, pelēkos vulkāniskos iežus apstrādājot ar sēra tvaikiem, veidojas plāns sēra kristālu slānis, acīm neredzams, bet nomelnots fotogrāfijās ultravioletos staros. Tāpēc iespējams, ka ar jauno fotogrāfisko metodi uz Mēness atklātas plašas sēra iegulas."

Plates, kas iegūtas, fotografējot caur gaismas filtriem, varēja sekmīgi pētīt ar metodi, ko izmanto trīskrāsu fotogrāfijā. "Negatīvs, kas uzņemts caur ultravioleto filtru, tika kopēts uz želatīna pamatnes un iekrāsots zilā krāsā; "violetie" un "oranžie" uzņēmumi – atbilstoši sarkanā un dzeltenā krāsā. Trīs kopiju savietošana deva brīnišķīgu krāsainu attēlu, kurš visai asi izdalīja Mēness dažādu daļu atšķirīgās spējas atstarot gaismu. Tumšākās Mēness virsmas daļas pārsvarā bija olīvzaļā krāsā, dažas vietas bija oranžā tonī, bet citas – purpura. Tumšais plankums pie Aristarha izrādījās tumši zils, kā arī bija sagaidāms." Vācu zinātnieki šo rajonu nodēvēja par Vuda plankumu – "Woodsches Fleck".

Spektrālzonālā fotogrāfija. Darbos, kas veltīti Mēness fotografēšanai dažādu viļņu garumu staros, Vuds faktiski aizsāka metodi, ko vēlāk nosauca par spektrālzonālo fotogrāfiju. Plašāk šo metodi sāka izmantot Otrā pasaules kara laikā 1939. – 1945. gadā, lai no aerouzņēmumiem atklātu maskētus objektus. Vēlāk šo metodi izmantoja zinātnē un saimnieciskā darbībā dabas objektu (sējumu, mežu, augsnes, ūdeņu u. c. dabas resursu) fotografēšanai. Svarīgu lomu spektrālzonālā fotogrāfija iemantojusi Zemes virsmas un citu planētu fotografēšanā no kosmiskajiem lidaparātiem un Zemes mākslīgajiem pavadoņiem.

Dažādu objektu atstarošanas spēja atkarībā no viļņu garuma mainās dažādi. Fotografējot apvidu no gaisa vienlaikus vairākās spektra zonās, var pastiprināt tās atšķirības starp objektiem vai detaļām, kuras nevar fiksēt parastajā fotogrāfijā spektra redzamajā daļā. Spektra zonas izvēlas atkarībā no objekta optiskajām raksturīpašībām un fotografēšanas mērķa. Vienā gadījumā tās var būt redzamajā un infrasarkanajā daļā, citā gadījumā – redzamā spektra šaurās joslās. Spektrālzonālajā fotogrāfijā izmanto gan melnbaltos, gan arī krāsainos fotomateriālus. Melnbaltajā variantā var izmantot krāsu atdalītus attēlus vairākās spektra zonās, galvenokārt tajās, kur pētāmo detaļu un fona atšķirības ir maksimālas. Fotografēšanu veic sinhroni trīs fotoaparāti uz melnbaltām filmām, kam ir atšķirīga spektrālā jutība. Var izmantot gaismas filtrus, ko speciāli piemeklē šauru spektra rajonu izdalīšanai. Iegūtos negatīvus var savietot un aplūkot kopā vai selektīvi caur atbilstošiem gaismas filtriem hromoskopā.

Krāsainajā variantā krāsattalītie attēli ir savietoti kopš iegūšanas brīža, jo šajā gadījumā izmanto divslāņu vai trīsslāņu fotomateriālus, kur viens slānis ir jutīgs pret infrasarkanajiem stariem. Piemēram, trīsslāņu fotomateriāla jutības zonas var būt zaļajā (500 – 600 nm), sarkanajā (570 – 690 nm) un infrasarkanajā (670 – 820 nm) spektra joslā. Attēlu iegūst pārveidotās, nosacītās krāsās; taču tieši tas rada iespēju atklāt objekta detaļas.

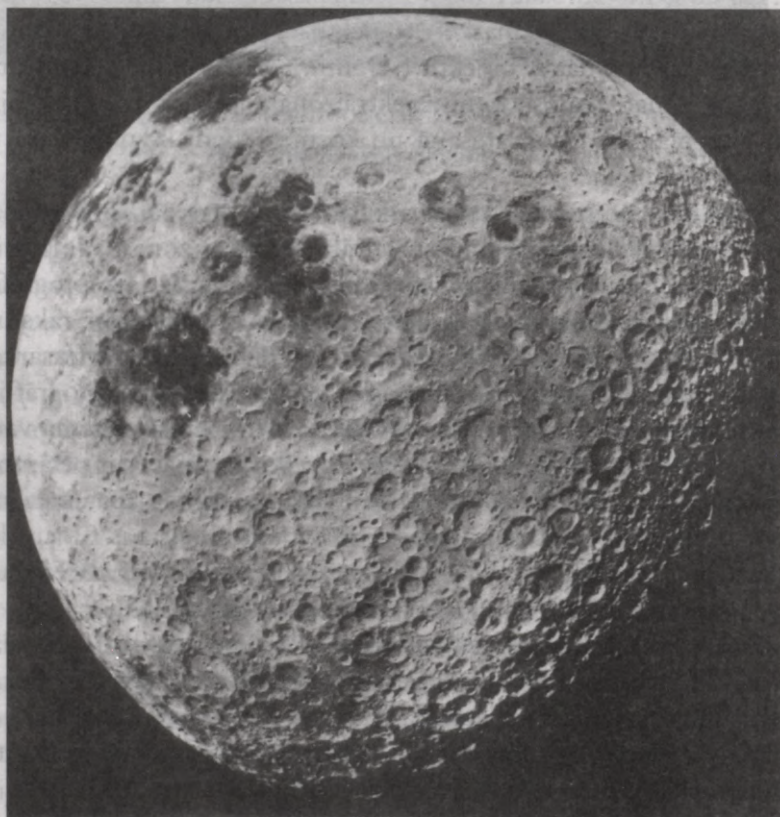
Zemes virsmas uzņēmumi, ko iegūst ar aparātiem ārpus Zemes atmosfēras, ir objektīvāki un aptver milzīgas platības. Pēc šiem uzņēmumiem var pētīt strukturālas, reģionālas, zonālas un globālas atmosfēras, litosfēras, hidrosfēras, biosfēras un Zemes ainavas īpatnības. Iespējama atkārtota fotografēšana pēc kāda laika. Tas atļauj pētīt dinamiku kā periodiskos dabas procesos (diennakts, sezonas), tā arī epizodiskos (vulkānu izvirdumi, mežu ugunsgrēki) notikumos un saimnieciskās darbības izpausmēs.

Kosmiskā spektrālzonālā fotogrāfija var kalpot par pamatu kompleksu pasākumu izstrādāšanai cīņā pret atmosfēras, sauszemes un jūras piesārņošanu.

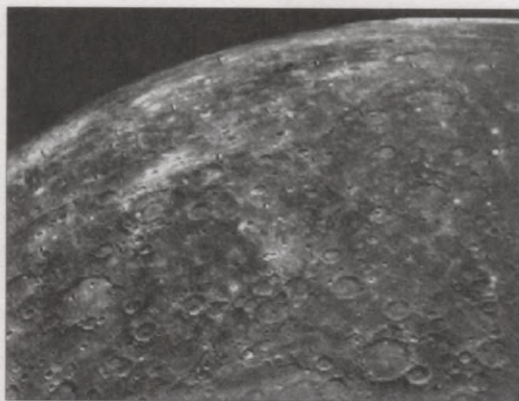
Pirmie Zemes virsmas uzņēmumi izdarīti no raķetes 1946. gadā, no Zemes mākslīgā pavadoņa 1960. gadā un no pilotējamā kosmiskā kuģa 1961. gadā.

Uzņēmumi, kas iegūti no raķetēm, tiek atvesti atpakaļ uz Zemi. Informāciju no stacionāriem pavadoņiem un ASS (automātiskā starpplanētu stacija) pārraida ar radio-televizijas sistēmas starpniecību.

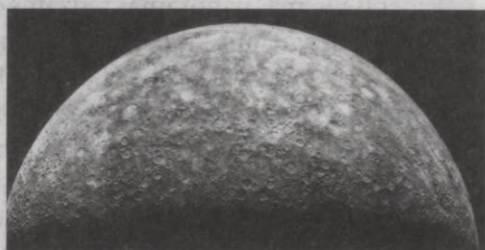
Fotogrāfija Saules sistēmas izpētē. Intensīva Mēness izpēte notika laika periodā no 1959. gada līdz 1972. gadam, kad orbītā ap Mēnesi palaida 29 mākslīgos pavadoņus un izmantoja 47 automātiskās stacijas. Pirmo Mēness neredzamās puses attēlu 1959. gadā ieguva stacija "Luna – 1". Augstākā tehniskā līmenī neredzamās puses attēlu ieguva "Apollo – 16", un tas notika 1972. gadā.



Mēness neredzamā puse. "Apollo – 16" uzņēmums 1972. gada 19. aprīlī



Merkura virsmas uzņēmumi no "Mariner – 10" borta. Televīzijas kamera skenēja 10% no Merkura virsmas, 5000 reižu palielinot virsmas detaļu izšķirtspēju. Krāteru diametri sasniedz 200 km (NASA)

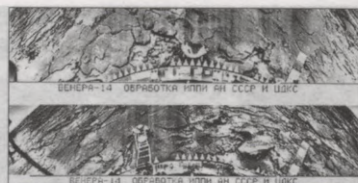


Kosmisko kuģu un kosmisko staciju izveidošana pavēra jaunas nebijušas iespējas fotogrāfijai, paplašinot Saules sistēmas planētu pētījumus. Pirmām kārtām tas attiecas uz Merkuru – Saulei vistuvāko planētu. Neraugoties uz Merkura ievērojamo spožumu, to ar lielām grūtībām var novērot no Zemes, jo Merkurs nekad neattālinās no Saules vairāk par 28° uz rietumiem vai austrumiem. Tādējādi Merkurs vienmēr slēpjas vakara krēslā vai rīta ausmā. Merkura fotogrāfiju, kas iegūtas ar kosmiskām stacijām, pētījumi liecina, ka šīs planētas virsma ir pārkļāta ar meteorītu krāteriem un tie ir līdzīgi krāteriem uz Mēness, kaut arī ir mazāki par pēdējiem. Atmosfēras uz Merkura praktiski nav.

Pēc izmēriem Zemei vistuvākā ir Venera. Tās pievilkšanas spēks veido 85% no Zemes pievilkšanas spēka. Venera ir klāta ar blīvu atmosfēru un necaurspīdīgu mākoņu segu, kas slēpj tās virsmu astronomiskiem novērojumiem. Ticamus datus par fizikālajiem apstākļiem uz Veneras izdevās iegūt tikai ar automātisko kosmisko staciju palīdzību. Temperatūra pie planētas virsmas sasniedz 500°C , spiediens – 100 atmosfēru. Veneras mākoņi 49 – 70 km augstumā satur sērskābes pilienu. 95 – 96% no atmosfēras sastāva ir ogļskābā gāze. Apmēram 50 km augstumā atmosfēra satur sēra daļiņas, zemāk – hloru. To, ka Venerai ir atmosfēra, jau konstatēja krievu zinātnieks Mihails Lomonosovs (1711 – 1765). Viņš novēroja planētu, kad tā 1761. gadā šķērsoja Saules disku. Brīdī, kad Venera tuvojās Saules diska malai, ap to iemirdzējās spožs vainags. No tā Lomonosovs secināja, ka ap planētu ir pietiekami blīva atmosfēra.

Veneras izpēte ar ASS palīdzību sākās 1961. gada 12. februārī, kad no Baikonuras kosmodroma Kazahijā startēja "Venera – 1". 1961. gada maijā tā aizgāja garām Venerai 100 000 km attālumā no planētas virsmas un kļuva par Saules pavadoni. Veneras virsmu

pirmo reizi sasniedza ASS "Venera – 7", kas startēja 1970. gada 17. augustā un planētu sasniedza 1970. gada 15. decembrī. Nākamais sūtnis bija "Venera – 8", kas tika palaista 1972. gada 27. martā un galā nonāca 1972. gada 22. jūlijā. Šīs stacijas pārraidīja datus par atmosfēras sastāvu, temperatūru un spiedienu, vēja ātrumu un apgaismojumu. Apstiprinājās, ka spiediens ir ap 90 atmosfēru un temperatūra ap 500 °C.



Veneras virsmas uzņēmumi ASS "Venera" nolaišanās vietā

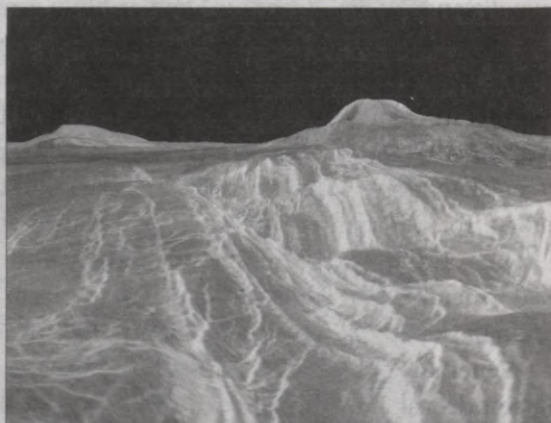
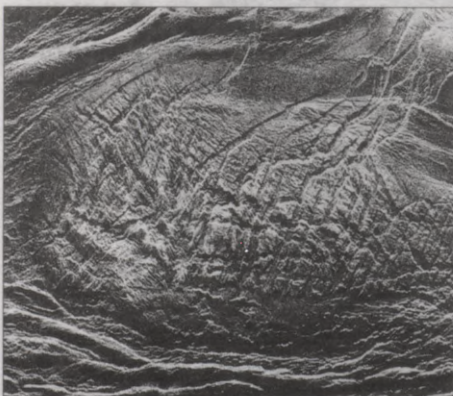
1975. gada 8. jūnijā startēja "Venera – 9" un 14. jūnijā "Venera – 10". Šīs ASS bija apgādātas ar speciālu aparātu (NA), kas paredzēts, lai nosēstos uz planētas. ASS tika ievirzīta orbītā ap Veneru vai Sauli. Uz Veneras NA nosēdās 22. un 25. oktobrī. Uz Zemes tika nosūtīta nosēšanās vietas panorāma.

Veneras virsmas panorāmās redzams daudz akmeņu, iespējams, ka tie ir vulkāniskas izcelsmes. Par vulkānisko darbību liecina arī staciju "Venera – 11", "Venera – 12" un "Venera – 13" reģistrētās zibens izlādes kalnu masīvos, kas, pēc speciālistu domām, ir vulkāniskas izcelsmes. Līdzīga parādība ir novērota vulkānu izvirdumos Zemes apstākļos. Veneras atmosfēras mazās caurlaidības dēļ reljefa optiskie pētījumi nav iespējami. Pēc radiolokācijas datiem ir rekonstruēta Veneras lielākās augstienes "Ishtar Terra" aina. Šī augstiene pēc izmēriem atbilst ASV, bet pēc augstuma pārsniedz Tibetas plato.

1981. gada 30. oktobrī tika palaista ASS "Venera – 13", bet 4. novembrī "Venera – 14". Šo staciju NA 1982. gada 1. un 5. martā sasniedza Veneras virsmu un retranslēja caur ASS nosēšanās vietas krāsainus panorāmas attēlus.

Kārtējais ASS "Venera – 15" un "Venera – 16" starts notika 1983. gada 2. un 7. jūnijā. Ar sintezētas antenas radiolokācijas stacijas palīdzību tika iegūti Veneras virsmas polāro apgabalu attēli. Ziemeļpolā tuvumā ir liela reljefa dažādība: līdzenumus nomaina pauguraini rajoni, bet tos savukārt – kalnu grēdas.

Par Marsu bagātīgu informāciju savākušas stacijas "Mariner – 6", "Mariner – 7", "Mariner – 9", "Marss – 3" un "Vikings", kas izveidots pēc "Mariner – 9" parauga, taču



Mākslinieka attēlotā "Ishtar Terra" augstiene, kas iegūta, izmantojot radiolokācijas datus



Marsa virsmas ainava, kas iegūta stacijas "Vikings" nolaišanās vietā 1976. gada 3. augustā (NASA)

ir daudz lielāks un apriņķots ar NA. Ir pārraidīti pirmie attēli no Marsa virsmas. Uz Marsa, tāpat kā uz Mēness, ir daudz cirku un krāteru. Reljefa formēšanā svarīga loma bijusi vulkāniskiem procesiem. Liela Marsa virsmas daļa ir sausi tuksnešaini rajoni, kurus klāj sarkani ieži un daudz akmeņu, tāpēc Marss atšķiras pārējo planētu starpā ar savu raksturīgo sarkano krāsu. Marsa "polārās cepures" sastāv daļēji no ledus, daļēji no cietās ogļskābās gāzes, bet Marsa atmosfēra – galvenokārt no ogļskābās gāzes. Atmosfēras spiediens ir 100 reižu mazāks nekā uz Zemes. Smagums spēks uz Marsa ir 2,5 reizes mazāks par Zemes smagums spēku.

Daudz vērtīgas informācijas par Jupiteru ieguva amerikāņu kosmiskie aparāti "Voyager – 1" un "Voyager – 2", kas 1979. gada martā un jūlijā lidoja garām šai Saules sistēmas lielākajai planētai. Jupitera atmosfēra sastāv galvenokārt no ūdeņraža. Atmosfēras augšējās

slāņos ir izvietota redzamā mākoņu sega, ko veido amonjaka pilieni un kristāli. Dziļākos slāņos ir amonija sulfāts, bet vēl dziļāk – ūdens pilieni.

Viens no interesantākajiem atklājumiem, ko lidojuma laikā veica ASS “Voyager – 1”, bija vairāku darbojošos vulkānu novērošana uz Jupitera pavadoņa Jo. Tie izvirda putekļus un sakarsētas gāzes līdz 200 km lielam augstumam. Konstatēts, ka Jo un tā tuvākais kaimiņš Europa ir bijuši pakļauti intensīvai meteorītu iedarbībai. Arī pārējie divi no Galileja atklātajiem Jupitera pavadoņiem – Ganimēds un Kallisto, kas pārklāti ar biezu ledus segu, ir krāteru izraibināti.

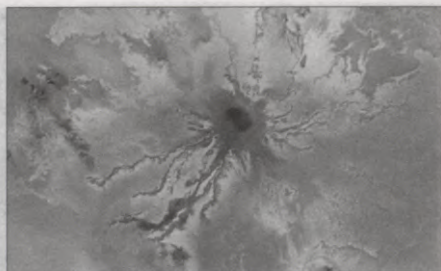
Saturnu ASS “Voyager – 1” sasniedza 1980. gadā, bet “Voyager – 2” – 1981. gadā. Saturns citu planētu starpā izceļas ar savu savdabīgo izskatu, to aptver neparasti skaisti gredzeni, kas sastāv galvenokārt no ledus daļiņām.

Ilgu laiku Saturna gredzenus uzskatīja par unikālu veidojumu. Nesen optiskos un radioastronomiskos novērojumos atklāja gredzenus arī Urānam, bet pēc tam kosmiskā stacija “Voyager – 1” atklāja vāju gredzenu arī Jupiteram. Pēc observatoriju novērojumu rezultātiem secināja, ka Saturnam ir pieci gredzeni. Jauns šo gredzenu pētīšanas etaps sākās ar Saturna novērošanu no ASS “Pioneer – 11” un “Voyager – 1” 1979. gada septembrī un 1980. gada novembrī un stacijas “Voyager – 2” 1981. gada augusta beigās.

“Pioneer – 11” atklāja pašu attālāko gredzenu, bet uzņēmumu izpēte, ko pārraidīja “Voyager – 1”, ļāva secināt, ka varētu pastāvēt vēl viens – septītais gredzens. Sensacionāls bija cits atklājums. Izrādījās, ka Saturnu apņem nevis seši vai septiņi plati gredzeni, bet gan daži simti šauru koncentrisku gredzenu. Pēc speciālistu vērtējuma, to skaits var būt no 500 līdz 1000. Fotografējās, kas iegūtas no “Voyager – 2”, redzams, ka šie šaurie gredzeni savukārt sadalās vēl šaurākos.

Lēmumu sūtīt “Voyager – 2” uz Urānu pieņēma 3,5 gadus pēc tā palaišanas, kas notika 1977. gada 20. augustā. “Voyager – 2” tāpat kā “Voyager – 1” bija paredzēts tikai Jupitera un Saturna pētīšanai. 1981. gada janvārī, kad bija nolemts kosmiskā aparāta maršrutā iekļaut Urāna izpēti, abi kuģi jau beidza savu programmu, noraidot uz Zemi plašu informāciju par Jupiteru, Saturnu un Jupitera pavadoņa Jo darbīgajiem vulkāniem. Neraugoties uz to, “Voyager” projekta zinātnieku grupai bija pietiekami daudz iemeslu programmas paplašināšanai. Planētu izvietojušas atļāva virzīt “Voyager – 2” uz Urānu un Neptūnu, izmantojot Saturna gravitācijas lauka iedarbību. Zinātnieku grupas pūliņu rezultātā realizējās nevarējama stacijas tikšanās ar Urānu un perspektīvā sekmīga tuvošanās Neptūnam 1989. gadā.

Būtiskākās grūtības Urāna izpētē bija vājais apgaismojums. Urāns atrodas divreiz tālāk no Saules nekā Saturns, un apgaismojums uz Urāna ir tikai 1/4 no apgaismojuma uz Saturna. Ekspozīcijas laiks jāpalielina četras reizes. Tas var izraisīt attēla asuma pasliktināšanos kosmiskās stacijas gadījuma kustību dēļ. Stacijas stabilizēšanai izmantoja speciālus paņēmienus.



Centrā – darbīga vulkāna krāteris uz Jupitera pavadoņa Jo (“Voyager–2”; NASA)

Attēlus stacija "Voyager – 2" ieguva ar speciālas telekameras starpniecību. Telekamera sadalīja attēlu matricās, kas sastāvēja no atsevišķiem elementiem – pikseļiem. Kosmiskā stacija noraidīja uz Zemi katra attēla elementa spožuma līmeni divnieku kodā. Attēls, ko ieguva no "Voyager – 2", sastāvēja no 800 pikseļu rindām, katra rinda ietvēra 800 pikseļu, tātad pavisam 640 000 attēla elementu. Katrs pikselis var reproducēt 256 spožuma līmeņu diapazonā no melnā līdz baltam. Lai nodrošinātu tādu līmeņu diapazonu (2^8 līmeņu) divnieku kodā, nepieciešami 8 biti informācijas. Tādā veidā, lai iegūtu vienu attēlu, nepieciešams $640\,000 \cdot 8$ bitu. Uz Zemi noraidīja gandrīz 6000 Urāna attēlu.

Kosmiskais aparāts "Voyager – 2" 1986. gada 24. janvārī pietuvojās Urānam 81 000 km attālumā no tā mākoņu augšējās robežas. No šā attāluma, pārvarot 3 miljardus kilometru līdz Zemei, tika noraidīti Urāna, tā pavadoņu un gredzenu attēli. Planētas novērojamā virsma ir zili zaļā krāsā un tīta mākoņu segā. Temperatūra zema, tā ir -210 °C. Bez pieciem jau zināmiem vidēja lieluma (500–1600 km) Urāna pavadoņiem atklāja un novēroja 10 mazos pavadoņus, kuru izmēri ir robežās no 15 līdz 165 km.

Neptūnu "Voyager – 2" sasniedza 1989. gada jūnijā. Paejot garām Neptūnam 4900 km attālumā no tā ziemeļpola un šķērsojot Tritona orbītu, "Voyager – 2" turpināja ceļu starpzvaigžņu telpā. Neptūnam atklāja trīs gredzenus un sešus mazos pavadoņus. Neptūnu klāj balti mākoņi. Konstatētas cirkulāras atmosfēras strāvas, kas formējas kā metāna konvekcijas plūsmas uz aukstākiem rajoniem, kur kondensējas gaišā ledū.

Ceļotājs kosmiskajā stacijā "Voyager – 2" Neptūnu ieraudzītu kā bālu zaļgani zilu lodī. Attēls nosacītās krāsās izceļ atmosfēras detaļas, kas nav saskatāmas ar neapbruņotu aci.

Kad bija atklāts Neptūns, Urbāns Leverjē rakstīja: "Nav nekāda pamata domāt, ka šī planēta ir pati pēdējā Saules sistēmā. Šis panākums ļauj mums cerēt, ka pēc 30 vai 40 gadu ilgiem jaunās planētas novērojumiem mēs varēsim to savukārt izmantot, lai atklātu planētu, kas ir nākamā pēc attāluma no Saules."

Viens no tiem, kuru šis jautājums ļoti interesēja, bija amerikāņu astronoms Persivals Louels (1855–1916). Viņš rūpīgi pētīja komētu orbītas un atklāja, ka dažas no komētām pārvietojas tālu aiz Neptūna orbītas. Pēc Louela domām, šīs komētas varētu "noderēt par ceļa rādītājiem uz vēl nezināmām planētām".

Devītās planētas, ko viņš dēvēja par planētu X, meklēšanu Louels uzsāka 20. gadsimta sākumā. Viņš izpētīja devītās planētas vājo ietekmi uz Neptūna orbītu. Pēc tam, izmantodams Neptūna orbītas neizskaidrojamās perturbācijas, mēģināja izskaitļot planētas X masu un atrašanās vietu. Louels deva aptuvenu planētas X aprakstu: "Devītā planēta atrodas apmēram sešu miljardu kilometru attālumā no Saules, un pilnam apgriezienam ap Sauli tai nepieciešami 282 gadi." No Zemes tā būtu novērojama kā 12. vai 13. lieluma zvaigzne.

Planētas X meklējumus Louels sāka 1905. gada sākumā, izmantojot 5 collu fototeleskopu. Fotografēšana ilga 3 stundas un deva iespēju reģistrēt gaismu pat no 16. lieluma zvaigznēm. Pēc dažām naktīm viņš fotografēja to pašu debess apgabalu. Tad abas plates uzlika vienu otrai tā, lai zvaigznes abās platēs precīzi nosegtu cita citu. Ja kāds no uzņemtajiem objektiem būtu planēta, tad, aplūkojot divkāršo plati caur lupu, varētu konstatēt attēla pārbīdi. Louels atklāja daudzus asteroīdus, taču planētu X viņam atklāt neiz-

devās. Viņš rakstīja: "Pašreiz mēs atrodamies sarežģītas problēmas priekšā. Mēs nevaram izmantot Neptūnu vienu pašu par ceļa rādītāju..., kā savā laikā tika izmantots Urāns, lai atrastu Neptūnu, jo mūsu rīcībā nav pietiekami daudz novērojumu par Neptūnu pagātnē."

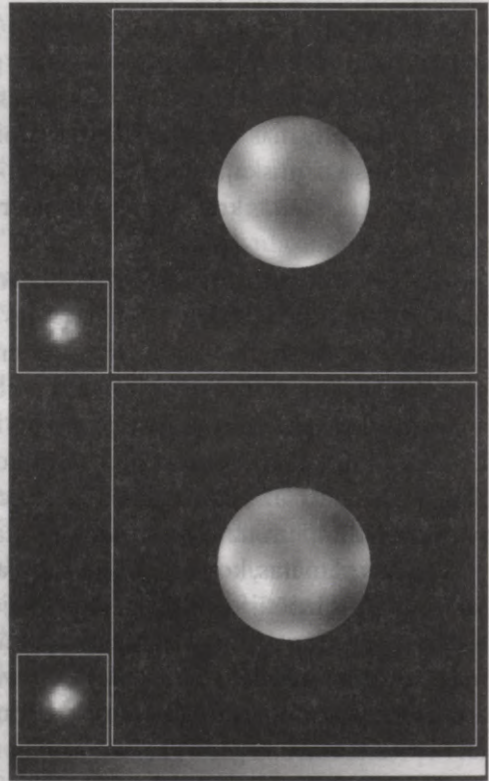
Trīs gadus pēc Louela nāves Viljams Henrijs Pikerings (1858 – 1938), kurš bija strādājis kopā ar Louelu, paziņoja: "Es domāju, ka devītā planēta tagad pārvietojas pa orbītu tālu aiz Neptūna. Es domāju, ka planēta lēni šķērso Dvīņu zvaigznāju un tur tiks atklāta."

Pagāja gandrīz 10 gadu, iekams atsāka planētas X meklējumus. Tos veica amerikāņu astronoms Klaidis Viljams Tombo. Viņš sāka novērojumus 1929. gadā, kad bija gatavs 13 collu fototeleskops. Pēc stundas ilgas ekspozīcijas varēja iegūt līdz 17. lieluma zvaigžņu attēlus. Katrā platē vidēji bija ap 160 000 zvaigžņu, dažkārt uz vienas plates ieguva līdz 400 000 zvaigžņu attēlu, un to salīdzināšana bija ļoti darbietilpīga un nogurdinoša. Darbā viņš izmantoja blinkmikroskopu, kur pārvietojams spogulītis ļauj salīdzināt divas plates. Ja vienā platē kāds punkts ir pārvietojies, tad, pārslēdzot spogulīti, šis punkts lēkā uz priekšu un atpakaļ. Tombo tāpat kā Louels atklāja daudz kustīgu asteroīdu. Tos viņš viegli atšķīra, jo tie pārvietojās pa zvaigžņu lauku pārāk ātri.

1930. gada 18. februārī, salīdzinot plates, kas bija fotografētas 23. un 29. janvāra naktī, Tombo netālu no zvaigznes Dvīņu δ atklāja kādu punktu, kurš sāka lēkāt uz priekšu un atpakaļ pa zvaigžņoto fonu. Turpmākie novērojumi apstiprināja, ka tā ir meklētā planēta. 1930. gada 13. martā, kad atzīmēja 75. gadadienu kopš Persivala Louela dzimšanas, observatorija paziņoja, ka atklāta planēta X. Zīmīgi, ka Urānu Viljams Heršels atklāja 1781. gada 13. martā. Arī tā bija atrasta Dvīņu zvaigznājā.

Zemes apstākļos labas Plutona fotogrāfijas neizdodas iegūt. 1996. gada marta sākumā tika publicēti Plutona virsmas pētījumu rezultāti, kas iegūti ar Habla kosmisko teleskopu. Tikai pēc 66 gadiem, kopš šī planēta atklāta, ir iegūts izteikts Plutona virsmas attēls. Attēli, kas iegūti pēc speciālas datorapstrādes, liecina, ka uz Plutona eksistē polāri ledus apgabali. Tos veido slāpekļa un metāna atmosfēras sarmas slānis.

Zvaigžņu fotografēšana. Zvaigžņu gaisma ir tik vāja, ka šķīta bezcerīgi to reģistrēt, taču amerikāņu astronomam Džordžam Bondam (1825 – 1865) Hārvarda observatorijā izdevās izdarīt pirmos zvaigžņu fotouzņēmumus. 1850. gada jūlijā 38 cm teleskopa fokusā,



Plutons pašlaik ir vienīgā planēta, kura nav pētīta no neliela attāluma. Plutona attēli iegūti ar Habla kosmisko teleskopu zilās gaismas diapazonā, kad Plutons bija 4,8 miljardu kilometru (32,3 ua) attālumā no Zemes un tā redzamais diametrs bija 0,1 loka sekunde

izmantojot 100 sekunžu ilgu ekspozīciju, ieguva 0 lieluma zvaigznes Vegas (Liras α) attēlu. Drīz pēc tam izdara dubultzvaigznes Kastora (Dviņu α) – otrā lieluma zvaigznes – uzņēmumu. Attēli bija stipri izstiepti ilgās ekspozīcijas un pulksteņmehānisma nevienmērīgās gaitas dēļ. Tā laika ekvatoriālās iekārtas, kas kalpoja vizuālajiem novērojumiem, neapmierināja fotogrāfiskās metodes prasības.

Pēc 7 gadiem Hārvarda observatorijas astronomi ievērojami uzlaboja sava teleskopa pulksteņmehānismu, un, izmantojot uzlabotus fotomateriālus, varēja turpināt zvaigžņu fotografēšanu. 1857. gadā Dž. Bonds nomainīja tēvu Hārvarda observatorijas direktora postenī un ar līdzstrādnieku palīdzību izdarīja sekmīgus zvaigžņu uzņēmumus. Bonds to apraksta šādi.

“Šā gada 27. aprīlī pirmo reizi tika iegūti dubultzvaigznes Micara un Alkora (Lielā Lāča ζ un γ) uzņēmumi ar vienu ekspozīciju. Izmantoja slapjo koloidālo procesu. Ekspozīcija bija 80 sekunžu ilga, zvaigžņu attēli novietoti tuvu viens otram. Taču tagad mēs esam pārliecināti, ka galvenās zvaigznes labam attēlam nepieciešamas tikai 2 vai 3 sekundes ilgas ekspozīcijas. Attēli tika mikroskopiski mērīti ar speciālu mikroskopu. Pretēji sagaidāmajam, precizitāte, ar kuru varēja izskaitļot relatīvo attālumu, izrādījās ļoti augsta. Sākotnējo domu, it kā attēla izmērs, sevišķi galvenās zvaigznes, būs šķērslis ticamam mērījumam, nācās noraidīt: ir svarīgi, lai attēli būtu simetriski... Attēla nekustība mikroskopā, protams, veicina iestādišanas precizitātes uzlabošanu, šajā gadījumā izpaužoties pārsteidzošā kontrastā ar zvaigžņu drebēšanu, pārvietošanos, novērojot teleskopā vizuāli. Fotogrāfiskais attēls ir šo mainīgo stāvokļu precīzs viduspunkts.”

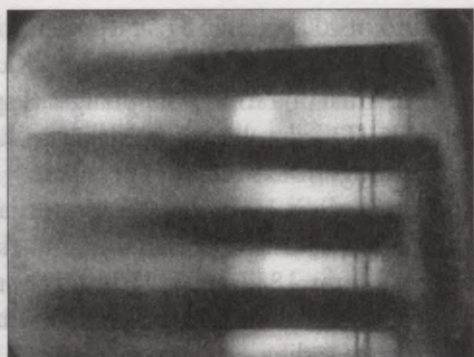
Bonds norādīja uz fotogrāfiskās metodes priekšrocībām, salīdzinot ar vizuālajām, un iezīmēja iespējas nākotnē. “Viens un tas pats objekts (Liras α) 1850. gadā prasīja 100 s ekspozīciju, lai tik tikko būtu saskatāms uz plates. Tagad šī zvaigzne tiek uzņemta acumirkļi un dod simetrisku disku, ideāli piemērotu precīziem mikrometriskiem mērījumiem. Tad mēs bijām ierobežoti ar duci vai diviem spožāko zvaigžņu, bet tagad fotografējām visas zvaigznes, kas redzamas ar parastu aci. Mēs novērojam uzlabošanas burtiski no nedēļas nedēļā.” Bonds paredzēja 10. un 11. lieluma zvaigžņu fotografēšanu, ja izdosies uzbūvēt teleskopu, kura objektīvs būtu 1,2 m, un novietot to augstā kalnā.

Bonda cerības ne tikai piepildījās, bet tika arī pārspētas. Pēc 30 gadiem, 1887. gadā, brāļi Anrī ar teleskopu, kura objektīva diametrs bija 33 cm, ieguva 10. lieluma zvaigžņu attēlus 20 s, bet 16. lieluma zvaigžņu attēlus 1 h 20 min ilgā ekspozīcijā. Nesenā pagātnē astronomi ar 2,5 un 5 metru teleskopiem Vilsona kalna un Palomāras kalna observatorijās fotografēja 10. lieluma zvaigznes 1 s, bet 22. un 23. lieluma zvaigznes – pusstundā. Tagad var reģistrēt 28. lieluma un pat vājākas zvaigznes.

Pirmās ziņas par debess spīdekļu spektru fotografēšanu saistās ar Gustava Kerstena vārdu. Viņš ap 1845. gadu Ķīlē mēģināja reģistrēt Saules spektru ar dagerotipa platēm. Iegūtais uzņēmums bija neass, bet tā tomēr jau bija spektra fotogrāfija.

Zvaigžņu spektrus 1869. gadā ieguva Henrijs Dreipers. Dreipers un Viljamss Haginss spektroskopu ievietoja lielā spoguļa fokusā un uzņēma vienas zvaigznes spektru, izmantojot lielu dispersiju. Viņi varēja novērot zvaigznes, kas nebija vājākas par 3. – 4. lieluma zvaigznēm. Eduards Pikerings novietoja prizmu, kurai bija neliels lauzējleņķis, pirms teleskopa objektīva.

Prizma aizklāja visu objektīva atveri, un Pike-rings uz plates ieguva visu pietiekami spožo zvaigžņu, kas nokļuva teleskopa redzeslaukā, spektrus. Šādas sistēmas dispersija nebija liela. Pikerings varēja iegūt 8. – 9. lieluma zvaigžņu spektrus. Angļu astronoms R. L. Votērfilds šajā sakarībā rakstīja: “Amerika, kura vienmēr augstu vērtēja masveida produkciju, ieteica metodi, kas atļauj fotografēt zvaigžņu spektrus vairumā.”



G. Kerstena iegūtais Saules spektra dagerotips

1886. gadā H. Dreipera atraitne atdeva Hārvarda observatorijai vīra instrumentus. Tas ļāva šeit izvērst zvaigžņu spektru pētniecību. Darbu kulminācija bija 1918. – 1924. gadā, kad publicēja Henrija Dreipera zvaigžņu spektru katalogu, kas saturēja vairāk nekā 225 000 zvaigžņu spektru.

Hologrāfija. 20. gadsimta vidū fotogrāfijas attīstībā iestājās negaidīts pavērsiens. Radās hologrāfija. Hologrāfija ir bezlēcū telpisku attēlu iegūšanas metode. 1948. gadā ungāru izcelsmes angļu fiziķis Deniss Gābors (1900 – 1979) publicēja pirmos rakstus, kur izklāstīja hologrāfijas principus un aprakstīja hologrammu iegūšanas eksperimentus, izmantojot par gaismas avotu dzīvsudraba lampu. Hologrāfiskajā metodē registrē gan gaismas viļņa amplitūdu, gan arī tā fāzi. To panāk ar interferences palīdzību. Gābors ieteica gaismas viļņa pieraksta un rekonstruēšanas jauno metodi nosaukt par hologrāfiju. Jēdziens “holos” aizgūts no grieķu valodas un nozīmē “viss”.

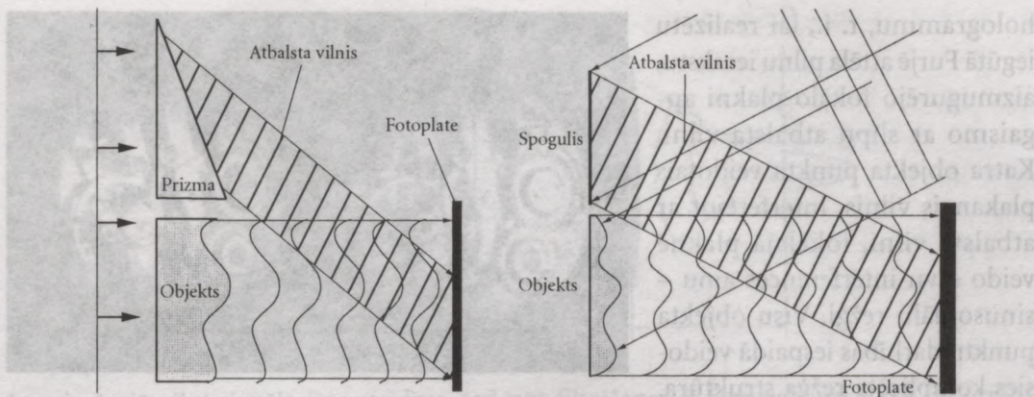


Deniss Gābors
(1900 – 1979)

Vēlāk hologrāfisko metodi uzlaboja Gābora un Džordža Strauka darbos, taču uzplaukumu tā guva tikai pēc lāzera ieviešanas. 1962. gadā Emmets Leits un Juris Upatnieks ieteica uzlabot divstaru hologrammas uzņemšanas shēmu, izmantojot slīpi vērstu plakānu atbalsta vilni. Tā var iegūt Freneļa hologrammas no patvaļīgas formas caurspīdīgiem vai atstarojošiem objektiem. Savukārt Jurijs Denijsjūks ieteica veikt hologrammu ierakstu trīsdimensiju vidēs, piemēram, biežā emulsijā.

Patvaļīgas formas un izmēra objekta gadījumā var uzskatīt, ka objekts sastāv no daudziem punktveida gaismas avotiem, kas emitē sfēriskus viļņus. Tad Freneļa hologramma ir sfēriska un plakana viļņa interferences ainas ieraksts. Jebkurā hologrammas punktā ir ierakstīta informācija par visu objektu. Šis apstāklis tad arī nosaka Freneļa hologrammu būtiskās īpašības.

Hologrammu var uzskatīt par savdabīgu optisku difrakcijas režģi. Rekonstruēšanas procesā no tās iegūst vienu šķietamu un vienu reālu objekta attēlu, kas novietoti simetriski galīgā attālumā abās pusēs hologrammai. Trešais staru kūlis, kas izplatās

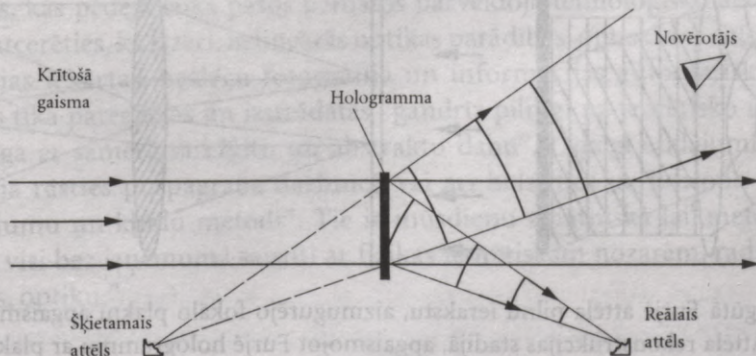


Freneļa hologrammu uzņemšana

krītošās gaismas virzienā, speciālu interesi neizraisa. Izklietošo staru kūlis veido šķietamo jeb galveno attēlu. Tas ir līdzīgs objektam. Pārvietojot aci staru kūļa robežās, var ieraudzīt objektu dažādos rakursos. Saejošais staru kūlis veido reālo jeb pseidoskopisko attēlu. To var projicēt uz ekrāna, un tam ir virkne īpatnību. Reālajam attēlam ir mazs asuma dziļums, ja to veido gaismas kūlis no visas hologrammas. Asu attēlu var iegūt, novietojot hologrammas plāknē nelielu diafragmu. Reālā attēla reljefs ir apgriezts priekšmeta reljefam un arī paralakses efekti ir apgriezti.

Šķietamā attēla vizuālo novērošanu netraucē ierobežotais asuma dziļums, jo acs redzoklis diafragmē viļņa fronti un izdala novērošanai tikai nelielu hologrammas zonu. Šķietamā attēla maksimālo intensitāti iegūst, ja hologrammas apgaismošanai izmanto vilni, kas ir identisks ieraksta stadijā izmantotajam.

Ierakstot divu plakanu viļņu interferences ainu, iegūst Furjē hologrammu. Attēlā ilustrēta Furjē hologrammas iegūšana ar A. van der Lugta metodi. Metodes būtība ir šāda. Signālu, kura hologramma jāiegūst, ieraksta transparentā kā caurlaidības koeficienta izmaiņu atkarībā no koordinātām. Transparentu novieto pozitīvas lēcas priekšējā fokālajā plāknē. Lēcas aizmugurējā fokālajā plāknē iegūst signāla Furjē attēlu. Lai iegūtu Furjē



Attēla rekonstruēšana no Freneļa hologrammas

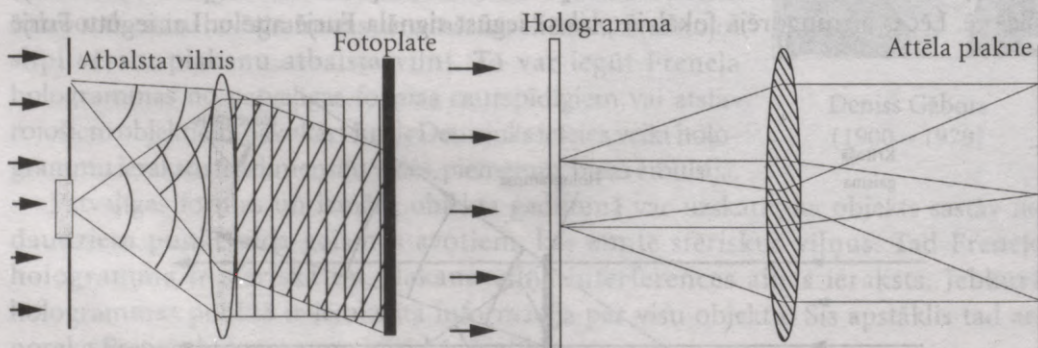
hologrammu, t. i., lai realizētu iegūtā Furjē attēla pilnu ierakstu, aizmugurējo fokālo plakni apgaismo ar slīpu atbalsta vilni. Katra objekta punkta veidotais plakanais vilnis, interferējot ar atbalsta vilni, fokālajā plaknē veido savu interferences ainu – sinusoidālu režģi. Visu objekta punktu darbības iespaidā veidošies komplicēta režģa struktūra. Attēla rekonstrukcijas stadijā, apgaismojot Furjē hologrammu ar plakanu vilni, iegūst objekta attēlus, kas lokalizēsies bezgalībā vai arī aiz hologrammas novietota objektīva fokālajā plaknē.



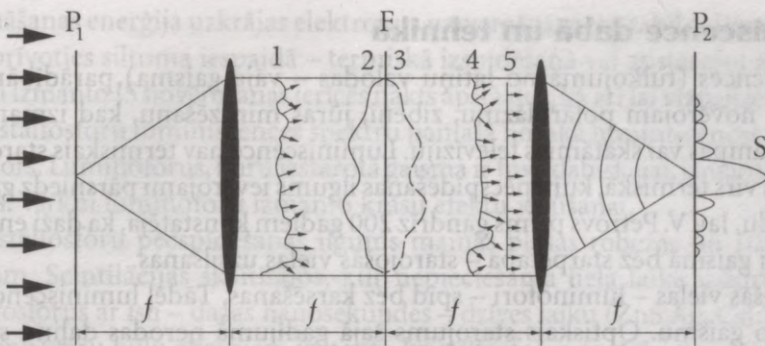
Pulksteņa mehānisma attēla stereopāris, kas iegūts no vienas hologrammas

Hologrāfijas izmantošanas iespējas ir ļoti plašas: reklāmā, mākslā, zinātnē un tehnikā. Ļoti perspektīva ir hologrāfijas izmantošana informācijas ierakstīšanā, apstrādāšanā un glabāšanā. Kā piemēru var minēt noteikta objekta vai tēla atpazīšanu starp daudziem citiem, ko izmanto fizikā, astrofizikā, ģeoloģijā, arheoloģijā, bioloģijā, medicīnā un kriminālistikā.

Metode pamatojas uz tā saukto tēla telpas spektra filtrēšanu. Iedomāsimies, ka transparentā ierakstīta virkne dažādu objektu attēlu. Tie var būt pirkstu nospiedumi, rakstu zīmes, lādētu daļiņu treku, kosmisku objektu u. c. attēli. Attēlu skaits var būt ļoti liels: daži simti vai pat tūkstoši. Attēlus izvieto matricas formā, tādēļ katram attēlam ir savas koordinātas. Ja no šā attēlu masīva ir jāatrod viens noteikts attēls, tad izmanto korelācijas metodi. Lēcas aizmugurējā fokālajā plaknē, kur veidojas transparenta attēlu Fraunhofera difrakcijas aina jeb telpas spektrs, ievieto saskaņotu filtru. Saskaņotais filtrs laiž cauri tās telpas spektra (difrakcijas ainas) komponentes, kuras satur meklētais attēls. Šā attēla optiskais signāls pēc filtrēšanas veido plakanu vilni. To var skaidrot šādi. Ja primārajā



Lai realizētu iegūtā Furjē attēla pilnu ierakstu, aizmugurējo fokālo plakni apgaismo ar slīpu atbalsta vilni. Attēla rekonstrukcijas stadijā, apgaismojot Furjē hologrammu ar plakanu vilni, iegūst objekta attēlus, kas lokalizēsies bezgalībā vai arī aiz hologrammas novietota objektīva fokālajā plaknē



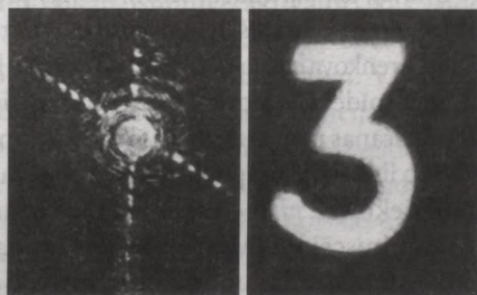
Ja primārajā vilnī signāla fāze steidzas, tad pēc filtrēšanas šī fāze tiek aizkavēta un otrādi. Saskaņotais filtrs laiž cauri tās telpas spektra (difrakcijas ainas) komponentes, kuras satur meklētais objekts. Šā objekta optiskais signāls pēc filtrēšanas veido plakānu vilni.

P_1 – transparents, F – fokālā (telpas frekvenču) plakne, P_2 – plakne, kur novēro atpazīšanas rezultātu, 1 – viļņu fronte signālam un troksnim, 2 – signālam atbilstošā viļņu frontes komponente pirms filtrēšanas, 3 – filtra caurlaidības funkcija, 4 – troksnim atbilstošā viļņu frontes komponente, 5 – signāla viļņu fronte pēc filtrēšanas. Dotajā gadījumā meklētais objekts atrodas plaknes P_1 koordinātu sākumpunktā, tad arī atbildes signāls S atrodas plaknes P_2 koordinātu sākumpunktā

vilnī signāla fāze steidzas, tad pēc filtrēšanas šī fāze tiek aizkavēta un otrādi. Savācoša lēca plakano vilni fokusē izejas plaknē, kur novēro spožu plankumu. Pēc plankuma koordinātām var atrast meklētā objekta attēlu.

Saskaņoto filtru izgatavošanas metodiku izstrādāja A. van der Lugts, un šie filtri ir Furjē hologrammas.

Raksturojot šo optikas attīstības periodu, Džordžs Strauks rakstīja: “Atkārtojot Tauna vārdus, var sacīt, ka pēdējie spilgtākie notikumi radiooptikā, ieskaitot lāzera izgudrošanu, “atspoguļo miniatūrā grandiozās izmaiņas, kas pēdējā laikā pašos pamatos pārveidoja tehnoloģisko atklājumu dabu”. Pietiek atcerēties, ka lāzeri, nelineārās optikas parādības, optiskās skaitļošanas iekārtas, difrakcijas iekārtas, bezlēcū fotogrāfija un informācijas automātiskās nolasīšanas sistēmas tika paredzētas un izstrādātas “gandrīz pilnīgi uz teorētisko ideju bāzes, kas raksturīga ar samērā sarežģītu un abstraktu dabu”. Līdzīgi atklājumi un izstrādnes “nevarēja rasties puspagraba darbnīcā vai arī balstīties uz Edisona laika intuitīvo mēģinājumu un kļūdu metodi”. Tie ir mūsdienu zinātniskā laikmeta produkti, un gandrīz visi bez izņēmuma saistīti ar fizikas teorētiskām nozarēm, radiosakariem un, protams, optiku.”



Cipara 3 telpas frekvenču spektrs

4. 5. Luminiscence dabā un tehnikā

Ar luminiscences (tulkojumā no latīņu valodas – vāja gaisma) parādībām mēs sastopamies, ja novērojam polārblāzmu, zibeni, jūras mirdzēšanu, kad izmantojam dienasgaismas lampas vai skatāmies televīziju. Luminiscence nav termiskais starojums. Tas ir starojums virs termiskā, kura pēcspīdēšanas ilgums ievērojami pārsniedz gaismas svārstību periodu. Jau V. Petrovs pirms gandrīz 200 gadiem konstatēja, ka daži enerģijas veidi pāriet tieši gaismā bez starpetapa – starojošās vielas uzsilšanas.

Luminiscējošās vielas – luminofori – spīd bez karsēšanas. Tādēļ luminiscenci bieži dēvē par auksto gaismu. Optiskais starojums šajā gadījumā nerodas daļiņu siltumkustības iespaidā, bet gan iedarbojoties citiem ierosināšanas faktoriem. Tie var būt:

- gaisma, kuras iedarbībā rodas fotoluminiscence,
- katodstari – katodluminiscence,
- radioaktīvās sabrukšanas produkti – radioluminiscence,
- elektriskais lauks – elektroluminiscence,
- mehāniska iedarbība – triboluminiscence,
- ķīmiskas reakcijas – hemoluminiscence.

Svarīgi, ka, pārtraucot ierosināšanas procesu, luminiscence vēl kādu brīdi turpinās. Tas atļauj luminiscenci atšķirt no gaismas, kas rodas atstarošanā, izkliedē, lādētu daļiņu bremsēšanā, Čerenkova efekta dēļ, kā arī no optisko harmoniku un gaismas parametriskās ģenerācijas.

Ja izspīdēšana notiek tūlīt pēc ierosināšanas un izbeidzas 10^{-8} – 10^{-6} s laikā pēc ierosināšanas pārtraukšanas, tad šādu luminiscenci sauc par fluorescenci. Ja luminiscenci novēro ilgāku laika sprīdi pēc ierosināšanas pārtraukšanas, tad to sauc par fosforescenci (no grieķu val. *phos* – gaisma). Tā var turpināties vairākas minūtes un pat stundas.

Luminiscējošās vielas pēc ierosināšanas tipa iedala fotoluminoforos, rentgenoluminoforos, radioluminoforos, katodluminoforos, elektroluminoforos un hemiluminoforos. Daži ir jaukta veida luminofori. Piemēram, ZnS:Cu ir foto-, katod- un elektroluminofors. Minētais pieraksts nozīmē, ka cinka sulfīds satur vara atomu piemaisījumu. Pēc ķīmiskās dabas izšķir organiskos luminoforus un neorganiskos – fosforus. Kristāliskas struktūras fosfori ir kristālfosfori.

Kristālfosforiem parasti izmanto kristālus, kuru aizliegtās zonas platumus ir no 1,0 līdz 10 eV. Tie ir cinka un kadmija sulfīdi, selenīdi un telurīdi (ZnS, CdS, ZnSe, CdSe, ZnTe), sārmu halogenīdu kristāli (CsJ, NaJ), gallija un indija arsenīdi, antimonīdi un fosforīdi (GaAs, InAs, GaSb, GaP, InP). Izmanto arī skābekli saturošu skābju sāļus un citas vielas. Par aktivatoriem izmanto metālus (Ag, Cu, Mg, Co, Mn, Tl, Eu, Tu) un citus elementus.

Kristālfosforu luminiscences mehānisma pamatā ir rekombinācija, galvenie parametri ir luminiscences iznākums, luminiscences spektrs un dzišanas laiks. Luminiscences iznākums ir atkarīgs no aktivatora koncentrācijas un piemaisījumu klātbūtnes, kas var izraisīt luminiscences dzēšanu. Tādēļ tik ļoti svarīga kristālfosforu izgatavošanas tehnoloģijā ir izmantojamā materiāla tīrība. Speciālu piemaisījumu (dzēšanas centru) ievadīšana var stipri iespaidot luminiscences iznākumu, izmainot temperatūru tikai par dažiem grādiem. Dažos kristālfosforos, apstarojot tos ar redzamo vai UV gaismu,

ierosināšanas enerģija uzkrājas elektronus uztverošos metastabilos līmeņos. Pēc tam tie var atbrīvoties siltuma iespaidā – termiskā izspīdēšanā vai apstarojot ar IS stariem. Šo īpašību izmanto IS novērošanas ierīcēs nakts apstākļos, kā arī lai vizualizētu IS starojumu.

Kristālfosforu luminiscences spektru pamatā nosaka luminiscences centru tips, t. i., aktivators. Luminoforus, kuru izstarotā gaisma ir tuva dabiskajai, izmanto dienasgaismas lampās. Virkni luminoforu izmanto krāsu efektu iegūšanai.

Kristālfosforu pēcspīdēšanas ilgums mainās plašās robežās no 10^{-9} s līdz dažām stundām. Scintilācijas skaitītājos, kur nepieciešama liela laika izšķirtspēja, izmanto kristālfosforus ar īsu – dažas nanosekundes – dzīves laiku (ZnS:Ag, CsJ:Tl, NaJ:Tl u. c.). Elektronu staru kūļu ekrāniem izmanto kristālfosforus ar dažu μ s pēcspīdēšanas laiku, piemēram, ZnS, CdS:Cu. Instrumentu un pulksteņu rādītāju vizualizēšanai izmanto kristālfosforus, kuru pēcspīdēšana var ilgt dažas stundas (ZnSi:Cu, SrS:Cu, Bi). Pievienojot kristālfosforiem radioaktīvus sāļus, iegūst pastāvīgas darbības luminoforus.

Fotoluminiscence rodas fotoierosmes iespaidā, izmantojot redzamā vai UV diapazona starojumu gāzu, šķidrumu, stiklu, dielektriķu, pusvadītāju un citu materiālu ierosināšanai. Stiklu un cietvielu luminiscences centri ir pamatvielā speciāli ievadīti joni vai molekulas. Piemēram, neodima stiklā ievada nelielās devās neodima jonus Nd^{3+} , mākslīgajā rubinā – hroma jonus Cr^{3+} . Praksē ļoti plaši izmanto kristālfosforus. Tie ir dielektriķu vai pusvadītāju kristāli, kuros ievadīti piemaisījumi – aktivatori, kas veido luminiscences centrus. Luminiscences centrs var būt arī kristāliskā režģa defekts.

Fotoluminiscenci sekmīgi izmanto ultravioleto staru vizualizēšanai. Viens no pirmajiem fotoļuminiscences praktiskās izmantošanas veidiem ir signalizācija. Roberts Vuds Pirmā pasaules kara laikā strādāja pie optiskās signalizācijas iekārtu izveidošanas sabiedroto armijas pusē. Šim nolūkam bija svarīgi iegūt šauru staru kūli, lai novērstu signālu pārtveršanu. To varēja panākt ar speciālas lampas un teleskopiskas sistēmas palīdzību. Vuds izmantoja gan redzamo, gan arī ultravioleto gaismu. UV staru uztveršanai bija nepieciešams speciāls fosforiscējošs ekrāns. Franči UV starus un luminiscējošo ekrānu, kurus izmantoja Vuds, bija iesaukuši par Vuda gaismu un Vuda ekrānu. Šajā sakarībā Vuds atzīst, ka viņam ir neveiksmīgs uzvārds, jo to bieži sajauc ar līdzīgu sugas vārdu. Reiz amerikāņu sūtnis Parīzē ziņojis Valsts departamentam, ka franči atraduši svarīgu rūpniecisku izmantošanu dzīvsudraba loka starojumam, ar ko apstaro “koka ekrānu”, – kā viņš pārtulkoja “ecran de Wood”.

Ultravioleto lampu izmantošana veicināja jauna tipa UV stikla atklāšanu, kuru drīz pēc tam plaši ieviesa praksē. 1919. gadā, būdams Anglijā, Vuds apmeklēja Portsmutas jūras ostas speciālā biroja laboratoriju, kas izveidota aizdomīgu dokumentu un citu lietu pārbaudei. Vuds stāstīja: “Britu eksperti man parādīja visas dažādās ķīmiskās metodes, lai attīstītu slepenos uzrakstus... Es ar interesi gaidīju, ka mani vedīs mazajā kabīnē bez logiem, kas atradās laboratorijas vidū, ar vadiem, kas uz to stiepās no sienas un plaukta. Es jau nojautu, kam tā kalpo, un beidzot, redzot, ka mani tur negrib vest, prasīju:

“Bet kas atrodas šeit?”

“Ā, atvainojiet mani,” – atbildēja kapteinis, kurš man visu rādīja, – “bet tā ir ļoti slepena lieta. To mēs nevienam nerādām.”

“Ultravioletie stari, droši vien?” – es pieticīgi jautāju.

“Ko?” – brīnījās kapteinis. – “Kāpēc jūs tā domājat?”

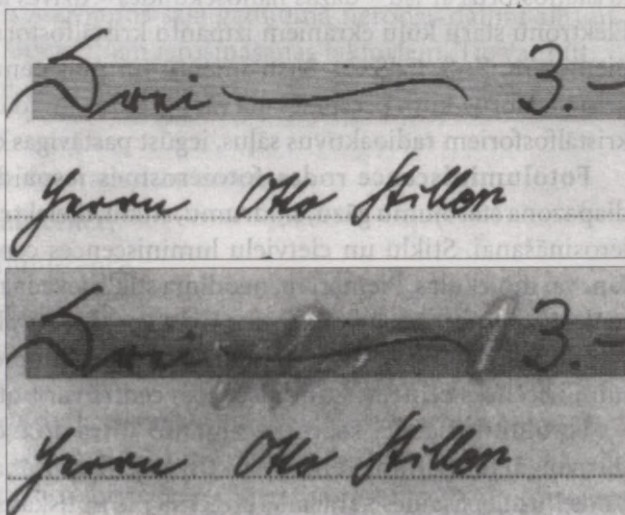
“Tāpēc, ka es izgudroju šo metodi un melno stiklu, kas aiztur redzamo gaismu, un nosūtīju tā formulu jūsu admiralitātei no mūsu Zinātnes un pētījumu nodaļas jau pirms gada.”

Pēc tam Vuds, protams, tika ielaists kabīnē, kur konstatēja, ka īsviļņu starojumu šajā laboratorijā izdala ar zilo kobalta stiklu un luminiscenci novēro caur dzeltenu filtru, lai atdalītu zilos starus. Tādu paņēmieni jau 19. gadsimta vidū fluorescences novērošanai izmantoja Džordžs Stokss. Melnais ultravioletais stikls līdz šai laboratorijai vēl nebija nonācis.

Fotoierosmi plaši izmanto luminiscentās lampās. Tie ir gāzizlādes gaismas avoti, kur gaismas plūsmu pamatā izstaro luminofors, kas uzklāts caurules iekšējai virsmai. Parasti izmanto kalcija halofosfātu, kas aktivēts ar antimonu un mangānu $[3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2, \text{Ca}(\text{F}, \text{Cl})_2:\text{Sb}, \text{Mn}]$ vai kristālfosforu MgWO_4 un $(\text{Zn}, \text{Be})_2\text{SiO}_4:\text{Mn}$ maisījumu, kas ļauj iegūt gaismas avotus ar dažādu krāsu temperatūru. Luminoforus ierosina gāzizlādes starojums. Parasti izmanto izlādi dzīvsudraba tvaikos. Izlādē bez dzīvsudraba ievada arī inertās

gāzes neonu vai argonu, kas veicina dzīvsudraba atomu ierosināšanu un pagarina lampas mūžu. Luminiscentās lampas kalpo vairākas reizes ilgāk par kvēllampām. Dzīvsudraba tvaiku spiediens izlādē ir $10^{-2} - 10^{-3}$ mm Hg. Šādos apstākļos intensīvi izspīd dzīvsudraba rezonanses līnijas 184,9 nm un 253,7 nm. Tas ir UV starojums, kas labi ierosina luminiscenci. Luminiscences lampu gaismas atdeve ir 75 – 80 lm/W. Gāzes pildītām volframa kvēllampām gaismas atdeve ir 12 – 13 lm/W, halogēna lampām 22 – 27 lm/W. Šādu samērā augstu efektivitāti pēdējā gadījumā panāk ar tā saukto halogēnu ciklu. Augstā temperatūrā lampas kvēldiega metāls iztvaiko un nogulsnējas uz kolbas sienām. Tas izraisa kolbas nomelnējumu un gaismas plūsmas samazināšanos. Ja lampas kolbā ir ievadīts kāds halogēns, piemēram, jods, tad aukstajā zonā veidojas metāla jodīda molekulas. Šīs molekulas nokļūst karstajā zonā, tur disociē un metāls izgulsnējas uz kvēldiega. Pateicoties šim ciklam, var paaugstināt kvēldiega temperatūru un panākt lielāku gaismas atdevi, kā to paredz termiskā starojuma likumi.

Dažādu vielu spēja luminiscēt UV staru ietekmē ļāva izstrādāt jaunu analīzes metodi – luminiscento analīzi, kas dod iespēju kontrolēt dažādu objektu (tajā skaitā organisku šūnu) sastāvu un stāvokli. Šo metodi plaši izmanto ķīmijā, ekoloģijā, arheoloģijā,



Dokumenta viltojums parastajā (augšā) un UV apgaismojumā (apakšā)

bioloģijā, medicīnā u. c. jomās. Luminiscentās gaismas krāsu un toņu neparastā bagātība un tīrība pievērsa mākslinieku, gleznotāju, dekoratoru un reklāmu noformētāju uzmanību. Gleznojot vai veidojot dekorācijas ar parastām krāsām, iegūst nelielu kontrastu starp detaļām un fonu. Tas apgrūtina spožu objektu attēlošanu, ko viegli izdarīt ar luminiscentām krāsām.

Fotoluminiscenci metālu tvaikos sāka pētīt 20. gadsimta sākumā. 1911. gadā Vuds pētīja dzīvsudraba tvaikus un atklāja rezonanses starojumu UV rajonā. Šis starojums rodas, ja vielas daļiņas absorbē uz tām krītošo starojumu un pēc īsa laika sprīža ($\sim 10^{-8}$ s) to atkal izstaro. Vuds arī pirmais izveidoja rezonanses lampu. Tā bija kvarca kolba, no kuras atsūknēts gaiss un iepildīts dzīvsudrabs. Dzīvsudraba tvaiku spiediens istabas temperatūrā ir pietiekami liels, lai varētu novērot rezonanses fluorescenci, ja tvaikus apgaismo ar dzīvsudraba lokizlādi. Taču jāievēro noteikums, ka loks iegūts ar mazām strāvām un zemā temperatūrā. Izlādes lampas starojums bija tik stiprs, ka bārija platīncianīda ekrāns mirdzēja dzeltenā gaismā. Ja starp izlādes lampu un ekrānu uz sasīluša stikla novietoja dzīvsudraba pilienu, tad tā tvaiki projekcijā uz ekrāna atgādināja melnu dūmu stabu uz dzeltena fona. Pamatojoties uz šo principu, bija iespējams izveidot optisku ierīci, kas uzrādītu dzīvsudraba tvaiku klātbūtni gaisā.

Šādas ierīces nepieciešamību radīja ražošana, kur dzinējos ūdens tvaiku vietā izmantoja dzīvsudraba tvaikus. Šie tvaiki ir ļoti indīgi, un nelielas sūces augstspiediena iekārtās netika atklātas, kamēr neparādījās stipras saindēšanās simptomi cilvēkiem. Pēc dažiem gadiem "General Electric" pētnieciskā laboratorija lūdza Vudu izgatavot ierīci dzīvsudraba tvaiku konstatēšanai. Kad Vuds ieradās, kompānijas vadība nolēma tomēr Vuda pakalpojumus neizmantot. Viņu ķīmiķi bija izgatavojuši indikatoru, kurš melnēja dzīvsudraba tvaiku iedarbībā. Dažus gadus to izmantojusi, kompānija konstatēja, ka šis indikators ir kaprīzs un darbojas ļoti lēnām. Bieži vien saindēšanās notika, pirms indikators sāka melnēt. Vienam no laboratorijas darbiniekiem uzdeva izgatavot detektoru, vadoties pēc Vuda idejām. Pēc gadu ilgām veltīgām pūlēm kompānija bija spiesta atkārtoti vērsties pie Vuda pēc padoma. Noskaidrojās, ka "General Electric" laboratorijā dzīvsudraba tvaikus centās atklāt, izmantojot dzīvsudraba loku lielā spiedienā, kad izlādei ir augsta temperatūra. Vuds norādīja uz šādas metodes kļūdainību. Augstspiediena lampa neizstaro gaismu, kuru var absorbēt dzīvsudraba tvaiki istabas temperatūrā. Šāda gaisma praktiski pilnīgi absorbējas pašas augstspiediena lampas aukstākajos slāņos, kas piekļaujas tās sienām.

Pēc nepilna gada avīzes ziņoja, ka "General Electric" inženieri uzbūvējuši "elektrisko degunu", kurš izošķinā dzīvsudraba tvaikus. Šī ierīce bija praktiski precīza Vuda pirmās idejas kopija ar to atšķirību, ka pēdējā par dzīvsudraba klātbūtni signalizēja zvaniņš.

Vuds neapšaubāmi bija izcila personība fizikas vēsturē veiktā darba milzīgā apjoma ziņā. Periodā no 1900. līdz 1935. gadam viņš publicēja vairāk nekā 250 zinātnisku rakstu. No tiem tikai ap 40 veikti kopā ar līdzstrādniekiem. Jau 1902. gadā "Philosophical Magazine" parādījās 10 Vuda darbu, un kāds vācu fiziķis rakstīja savam draugam Amerikā: "Vuds ir auglīgs kā trusis." Ne mazāk apbrīnojama ir Vuda vispusība. Viņš izdarījis atklājumus gandrīz vai visās fizikālās optikas nozarēs. Ir izteiktas domas, ka Vuds dažkārt novērojis kolēģu eksperimentus un publicējis kā savus augstākā tehniskā izpildījumā...

Katodluminescence rodas, ja vielu apstaro ar elektronu kūli (katodstariem), kur elektronu enerģija ir $10^2 - 10^5$ eV. Katodstaru jēdziens radās 19. gadsimta vidū vēl pirms elektronu atklāšanas. Kā fizikālu parādību katodstarus pirmais pētīja angļu fiziķis un ķīmiķis Viljams Krukss. Viņš parādīja, ka elektriskajai izlādei vakuumā pamatā ir lādētu daļiņu plūsma, kas nāk no katoda, – katodstari. Viņš pētīja katodstarus tā sauktajās “Krukša caurulēs”, kurām bija dažādas formas, un atklāja virkni šo staru īpašību:

- novēroja vakuumcaurules stikla, uz kuru krīt stari, spīdēšanu;
- 1879. gadā pierādīja, ka katodstari pārnes enerģiju un impulsu;
- 1886. gadā novēroja dažādu oksīdu un sāļu mirdzēšanu katodstaru iespaidā.

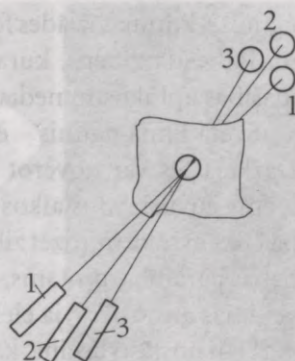
Katodluminescences spēja UV, redzamā un IS spektra daļā piemīt daudzām dabas un speciāli sintezētām vielām: tirām vielām, leģētiem pusvadītājiem un dielektriķiem, stikliem, molekulāriem kristāliem, šķīdumiem un pat inertām gāzēm cietā stāvoklī. Katodluminescencei piemīt pēcspīdēšanas inerce, temperatūras atkarība u. c. īpašības, kas raksturīgas konkrētai vielai. Lielākā elektronu kinētiskās enerģijas pārveidošanas efektivitāte starojumā (20 – 25%) ir katodluminofooriem (polikristāliskiem kristālfosfooriem) ar pēcspīdēšanas rekombinācijas mehānismu.

Katodluminoforus izmanto vakuumelektronikā katodluminescentos ekrānos, kur tos 5 – 10 μm plānos slāņšos izgulsnē uz metāla vai stikla pamatnes. Rūpnieciski izgatavo luminoforus ar dažādas krāsas un inerces starojumu. Melnbalto un krāsu televizoru ekrānos izmanto luminoforus, kam ir palielināta izturība pret elektronu iedarbību. Mainot pamatsastāvu un sintēzes apstākļus, var iegūt kristālfosforus, kuru starojums aptver visu spektra diapazonu un kuru pēcspīdēšanas ilgums ir ar acs gaismas uztveres inerci. Šādus luminoforus izmanto televizoru ekrānos. Lai iegūtu baltu ekrāna mirdzumu, izmanto divus luminoforus: dzeltenu ZnS, CdS:Ag un zilo ZnS:Ag. Krāsu televizoros izmanto zilo, zaļo ($Zn_2SiO_4:Mn$ vai $ZnSe:Ag$) un sarkano [$Zn_3(PO_4)_2:Mn$ vai $YVO_4:Eu$] luminoforu. Rentgenoskopijā izmanto luminoforus ZnS, CdS:Ag un $CaWO_4$, kas luminescē acs jutības maksimumā. Tas nenogurdina acis un ļauj samazināt starojuma jaudu.

Jau aplūkojām krāsu fotogrāfiju iegūšanu, tagad pakavēsimies pie krāsu televīzijas darbības principiem. Arī šeit izmanto krāsu teorijas secinājumu, ka jebkuru krāsu var iegūt no trim pamatkrāsām: sarkanas, zaļas un zilas. Katram krāsu televīzijas raidītājam ir trīs pārraidāmā objekta uztverošās ierīces. Katra no šīm ierīcēm reģistrē objektu caur sarkanu, zaļu un zilu gaismas filtru. Iegūtos krāsdalītos attēlus var noraidīt, izmantojot atšķirīgus viļņu garumus. Uztvertos signālus pastiprina trīs atsevišķos kanālos. Pastiprinātie signāli, kuri satur trīs krāsdalītus attēlus, jāsavieto tādā veidā, lai iegūtu krāsainu attēlu. Šim nolūkam kalpo speciāls kineskops, kas izmanto mūsu acs īpašību saskaitīt krāsas. Uz kineskopa ekrāna veidojas trīs krāsdalīti attēli, kas gandrīz sakrīt pēc sava novietojuma. To panāk ar luminofora palīdzību, kas uzklāts atsevišķos punktos uz ekrāna. Melnbaltā televizora ekrānā šie punkti, kuros izvietots zilais un dzeltenais luminofors, ir izkaisīti haotiski. Krāsu televizora ekrānā tie veido mozaīku no regulāriem trīsstūriem. Trīsstūru virsotnēs (triādēs) izvietotie luminofori ir atšķirīgi. Ierosinot ar elektronu kūli, tie izstaro atbilstoši sarkanu, zaļu un zilu gaismu. Luminoforu izmēri ir ap 0,3 mm, un tie izvietoti

0,3 mm atstatus cits no cita. Katras krāsas luminofors uz ekrāna jāuzklāj apmēram 600 000 punktos. Kopējais punktu skaits sasniedz 2 miljonus, kas izvietoti stingri noteiktā kārtībā.

Lai ierosinātu luminoforus, kineskopa kaklā ir iemontētas trīs elektronoptiskās sistēmas elektronu kūļu formēšanai. Krāsaina attēla iegūšanai nepieciešams, lai katras elektronoptiskās sistēmas kūlis nokļūtu tikai uz vienu krāsu izstarojošu luminoforu. Piemēram, elektronu kūlim, kuru modulē "sarkanais" signāls, jāierosina tikai sarkani starojošais luminofors. Lai to realizētu, izmanto metāla masku, kas ievietota kineskopā dažu milimetru attālumā no ekrāna. Maskā ir tik daudz caurumu, cik triāžu ekrānā. Katra cauruma diametrs ir ap 1/3 mm, un tas atrodas iepretī triādes centram. Šķērsojot caurumu, katrs elektronoptiskās sistēmas elektronu kūlis nokļūst uz "savas" krāsas luminofora. Ekrāna struktūru var labi novērot, aplūkojot to caur lupu.



Visi attālumi kineskopā ir aprēķināti tā, lai katrs elektronu kūlis, šķērsojot maskas caurumu, sasniegtu "savas" krāsas luminoforu

Radioluminiscenci ierosina radioaktīvās sabrukšanas produkti: α daļiņas, elektroni, γ stari, protoni un neitroni. Minētās daļiņas un γ stari savu enerģiju zaudē luminoforā, ierosinot un jonizējot molekulas. Sekundārie elektroni, pateicoties to pietiekami lielai enerģijai, savukārt izraisa atkārtotu ierosināšanu un jonizāciju. Starpprocesu ietekmē radioluminiscences efektivitāte ir mazāka par tās pašas vielas fotoluminiscences efektivitāti. Dabā novērojamā radioluminiscence ir polārblāzma. Katodluminiscence ir radioluminiscences speciāls gadījums.

Radioluminiscenci plaši izmanto kodolfizikā. Rezerfords, atceroties savu vizīti Parīzē pie Pola Lanževēna (1872 – 1946), kur viņš 1903. gada 25. jūnijā piedalījās vakariņās par godu Marijas Kirī doktora disertācijas aizstāvēšanai, rakstīja: "Pēc dzīvās diskusijas mēs sēdējām dārzā. Bija ap pulksten vienpadsmitiem vakarā, kad profesors Kirī iznesa pīpi, kuras viena daļa bija pārklāta ar cinka sulfīdu. Pīpē atradās koncentrēts rādija sāļu šķīdums. Nakts tumsā mirdzēšana bija apbrīnojami spoža, un tas bija neaizmirstamās dienas brīnišķīgs fināls. Šajā brīdī mēs nevarējām neievērot, ka profesora Kirī rokas bija slimīgi iekaisušas no rādija staru iedarbības." Iespējams, ka mirdzošā pīpe Pjēra Kirī rokās arī ierosināja Rezerfordu izmantot cinka sulfīda ekrānu α daļiņu pētīšanai pēc scintilācijas, ko šīs daļiņas izraisa, saduroties ar cinka sulfīda ekrānu.

Elektroluminiscenci izraisa elektriskais lauks, ierosinot atomus un molekulas elektriskā izlādē. To novēro gāzēs un cietās vielās. Plašāk pazīstama elektriskā izlāde gāzēs. Gāzes kļūst elektrovadošas, ja tās ir jonizētas. Ja jonizāciju veic ārējs avots, tad novēro nepatstāvīgo gāzizlādi, kas izbeidzas, ja pārtrauc ārējā jonizatora darbību. Par ārējo jonizatoru var kalpot dabiskā radioaktivitāte, kosmiskie stari, intensīvs gaismas starojums. Nepatstāvīgās izlādes forma ir nepatstāvīgā lavīnizlāde.

Ja gāzizlāde turpinās arī pēc ārējā jonizatora darbības beigšanās, tad tā ir patstāvīgā gāzizlāde, kuras formas ir koronas izlāde, dzirksteles izlāde, mirdzizlāde, lokizlāde, augstfrekvences izlāde un impulsa izlāde. Dabā sastopamās gāzizlādes ir Svētā Elma

ugunis – koronas izlādes forma, līnijveida zibens, kas ir dzirksteles izlādes veids atmosfērā, un lodveida zibens, kura daba vēl tiek intensīvi pētīta. Zibens rašanās apstākļus un īpašības aplūkosim nedaudz vēlāk.

Svētā Elma ugunis – elektriskā izlāde atmosfērā, kas atgādina mirdzošas liesmiņas. Dažkārt tās var novērot uz augstu priekšmetu asām detaļām. Nosaukumu šī izlādes forma guvusi viduslaikos no Svētā Elma baznīcas vārda Itālijā, kuras torņa smailēs laiku pa laikam sāka mirdzēt zilgas liesmas, kas liecināja par negaisa tuvošanos. Šī neparastā dabas parādība, protams, cēla baznīcas popularitāti. Tagad zināms, ka Svētā Elma ugunis veidojas atmosfērā, ja elektriskā lauka intensitāte sasniedz 500 V/cm un vairāk.

Seni nostāsti liecina, ka pirms vairāk nekā 2000 gadiem kartāgiešu karavadonis Hanibals (247. – 183. g. p. m. ē.) vedis savu karaspēku pāri Alpiem ļoti grūtos apstākļos. Kaujas garu padotajos Hanibalam palīdzējis saglabāt neparasts notikums. Nakts pārgājiena laikā karavīru šķēpu gali sākuši spoži mirdzēt. Sākumā visi izbijušies. Hanibals šo parādību izmantojis un pārliecinājis karavīrus, ka tā ir zīme tuvai uzvarai. Līdzīgs gadījums noticis kādā romiešu karagājiena laikā, ko vadīja Jūlijs Cēzars (101. – 44. g. p. m. ē.).

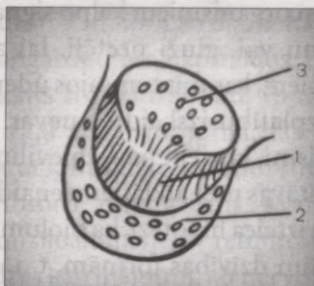
Cietvielu elektroluminiscenci 1923. gadā atklāja O. Losevs silīcija karbīdā (SiC), bet 1936. gadā franču zinātnieks Ž. Destrio – ar varu un alumīniju aktivizētos cinka sulfīda (ZnS) kristālos. Pirmajā gadījumā novēroja inžekcijas elektrisko izlādi, kas ir raksturīga līdzspriegumam pieslēgtai SiC un GaP paraugu p–n pārejai. Tad n rajonā tiek ievadīti papildu caurumi, bet p apgalā – elektroni. Mirdzums rodas elektronu un caurumu rekombinācijā. ZnS pulverī, kas aktivizēts ar varu vai alumīniju, novēro pirmscaursites elektroluminiscenci, ja tas ievietots dielektriķī starp kondensatora klājumiem. Ja kondensatoram uzlikts maiņspriegums, tad katrā pusperiodā cinka sulfīda kristālos rodas stipra elektriskā lauka rajons tajā pusē, kas vērsta pret katodu. Elektroni, kas no kristāla virsmas nonāk šajā laukā, paātrinās un jonizē kristāla režģa atomus. Veidojas caurumi, ko uztver luminiscences centri. Nākamajā pusperiodā lauks vērsts pretējā virzienā, un elektroni atgriežas luminiscences centros, kur notiek to rekombinācija ar caurumiem. Tādējādi rodas izspīdēšana – Destrio efekts. Destrio efektu izmanto dažāda veida indikatoros, kuru pamatā ir elektroluminiscējošais kondensators, attēlu pārveidotājos un atmiņas iekārtās. Elektroluminiscenci izmanto arī pusvadītāju lāzeros.

Triboluminiscence (gr. *tribos* – berze) rodas mehāniskās iedarbības iespaidā. To, piemēram, var izraisīt dislokāciju pārvietojušs deformācijā. Triboluminiscence ir mazāk izplatīta.

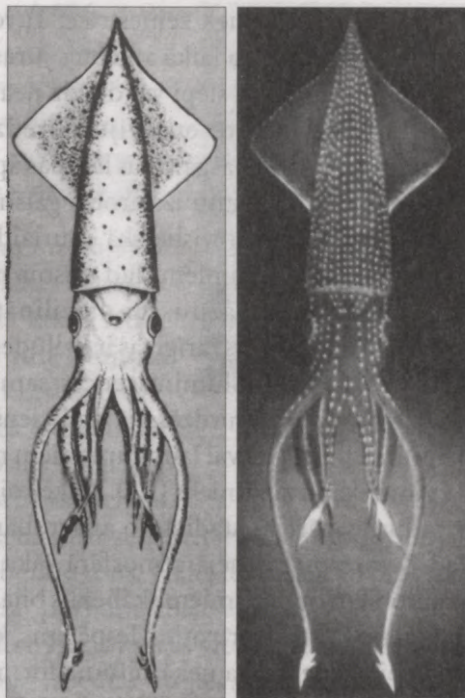
Hemiluminiscence pavada eksotermiskās ķīmiskās reakcijas, ja viens no reaģentiem ir ierosinātā stāvoklī. Hemiluminiscences intensitāte var ievērojami pārsniegt siltumstarojuma intensitāti. Labi izpētīta ir liesmas hemiluminiscence. Tās avots ir degšanas produkti ierosinātā elektroniskā stāvoklī, svārstību vai rotācijas līmeņos. Luminiscences avots var būt arī citas daļiņas, kas ievadītas liesmā. Tie var būt metālu atomi, kas ierosinās enerģijas apmaiņā.

Hemiluminiscences atsevišķs gadījums ir bioluminiscence. Tā ir organismu mirdzēšana, ko novēro trūdošiem kokiem, baktērijām, sēnēm, dažiem kukaiņiem un jūras dzīvniekiem. Jau 17. gadsimtā R. Boils konstatēja, ka trūdoša koka mirdzēšana

Seklūdēns kalmārs – vatasēnija, kas mīt Japāņu jūrā. Luminiscentā gaismā labi redzami daudzie gaismas orgāni – fotofori



Fotofori sastāv no gaismu izstarojošu šūnu audiem (1), atstarotāja (2) un fokusējošas lēcas (3)



izbeidzas, ja pārtrauc gaisa pieplūdi. Tā atkal atjaunojās gaisa klātbūtnē. Tādēļ var secināt, ka mirdzēšana rodas ķīmiskā reakcijā ar gaisa līdzdalību. Vēlāk noskaidroja, ka šajā reakcijā piedalās skābeklis. Tā ir speciālu olbaltumvielu – luciferīnu – oksidēšanās fermenta luceferāzes klātbūtnē. Baktērijām par luciferīnu kalpo flavīnmononukleotīds (riboflavīn-5-fosfāts). Luciferīni intensīvi fluoriscē. Luceferāze kalpo par katalizatoru. Izdalīts kristāliskā veidā, luciferīns var oksidēties arī ķīmiskā ceļā, bet atšķirībā no fermentatīvās oksidēšanās organismā enerģija izdalās siltuma veidā, nevis gaismas kvantos. Pēc ķīmisko procesu dabas iespējami vairāki bioluminiscences varianti ar atšķirīgu luminiscences spektrālo sastāvu. Daži vēži izstaro gaismu ar maksimālo intensitāti zili zaļajā spektra daļā 440 – 460 nm rajonā. Baktērijas, mirdzvbaboles izstaro dzeltenīgu zaļu gaismu rajonā ap 560 nm. Bioluminiscence plašāk izplatīta okeānu un jūru iemītniekiem, kas dažkārt savairojas tik daudz, ka izraisa jūras mirdzēšanu. Tagad ir pazīstami vairāk nekā 800 jūras organismu veidu, kam novēro bioluminiscenci, sākot no baktērijām un beidzot ar vēžiņiem un zivīm.

Daži organismi mirdz nepārtraukti, ja apkārtējā vidē ir skābeklis. Citi organismi mirdz atsevišķiem impulsiem. Ļoti bieži organismu mirdzēšana rodas kā reakcija uz kādu kairinājumu. Šie kairinājumi var būt ķīmiski, mehāniski vai elektriski, kā arī gaisma un siltums. Daži viencelšu organismi un sīkie vēži atsauca ar gaismas impulsiem pat uz vismazākajiem mehāniskajiem kairinājumiem: ūdens plūsmu un viļņošanās. Ir novērota kuģu radīto viļņu mirdzēšana, kas var būt tik spoža, ka rada atblāzmojumu mākoņos. Ļoti spēcīgs mirdzums rodas cunami laikā, kas rodas, ja zem jūras vai

piekrastes zonā notiek zemestrīce. Tuvojoties krastam, cunami viļņi vispirms izraisa stipru bēgumu, kura laikā atklātais jūras dibens spoži mirdz.

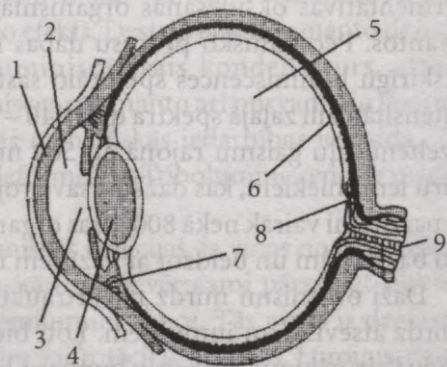
Bioluminiscence slēpj vēl daudz neatrisināta. Mirdzošie organismi ir ļoti racionāli starotāji, kas netērē enerģiju neredzamā, tai skaitā – siltuma, diapazonā. Pat visracionālākās dienasgaismas lampas apmēram pusi enerģijas izstaro IS rajonā. Turklāt jūrā mītošo organismu izstarotās gaismas maksimums atrodas zili zaļā spektra daļā, kur jūras ūdenim ir vislielākā caurlaidība un organismu gaismas signāli izplatās ar vismazākajiem zudumiem. Tad gaisma mirdzošajiem organismiem kalpo signalizācijai, lai tie cits citu atpazītu, lai pievilinātu laupījumu vai, gluži pretēji, lai atbaidītu ienaidnieku. Sevišķi svarīgi tas ir dziļūdens organismiem, kas mīt tumšajos ūdens slāņos. Taču ar to vien bioluminiscences samērā plašo izplatību izskaidrot nevar. Galveno ieguldījumu jūras mirdzēšanā dod viensūnu organismi, kuriem nav jāpievilina pretējā dzimuma pārstāvis vai laupījums, tiem nav arī jāaizstāvas pret atklātiem ienaidniekiem.

Amerikāņu zinātnieks U. D. Makelrojs 1962. gadā izteica hipotēzi, ka bioluminiscence ir radusies pārejas stadijā no anaerobām uz aerobām dzīvības formām, t. i., periodā, kad Zemes pirmatnējā atmosfērā sāka uzkrāties skābeklis. Tajā laikā eksistējošajiem anaerobiem organismiem skābeklis bija kaitīgs un pārsvaru guva tie organismi, kas bija spējīgi no tā ātri atbrīvoties. Iespējams, ka virknē gadījumu enerģijas izdalīšana gaismas veidā bija izdevīgāka nekā siltuma formā.

4. 6. Redzes optika

Cilvēka acs uzbūve. Cilvēka acs ir optisks instruments, kas ļoti labi piemērots savu funkciju veikšanai. Acs optiskās sistēmas galvenās sastāvdaļas ir acs priekšējās daļas caurspīdīgs apvalks – radzene (1), ar šķidrumu pildīta acs priekšējā kamera (2), redzoklis jeb acs zīlīte (3), acs lēca (4), stiklveida ķermenis (5) un tīklene (6). Redzokļa diametrs normālā apgaismojumā ir 3 – 4 mm, sliktā apgaismojumā tas sasniedz 8 mm. Acs lēcu aptver gredzenveida muskulis (7), kura darbības ietekmē var mainīties acs lēcas virsmas liekums un tās optiskais stiprums. Tā var iegūt asus dažādā attālumā esošu objektu attēlus uz tīklenes. Objektu attēli ir samazināti un apgriezti. Tiešus tos novērojam smadzeņu darbības iespaidā. Iepretī acs lēcai uz optiskās ass atrodas tīklenes dzeltenais plankums (8). Tam blakus sakopotas no visas tīklenes nākošās nervu šķiedras, kas veido redzes nervu (9) kairinājuma novadīšanai uz smadzenēm.

Acs optiskie parametri dažādiem cilvēkiem var būt atšķirīgi. Praksē izmanto vidējās vērtības, kas iegūtas, apsekojot daudzu acu atbilstošos lielumus. Izveidots t. s. Gulstranda reducētās acs modelis ar noteiktām parametru vērtībām:



Acs optiskā shēma: radzene (1), priekšējā kamera (2), redzoklis (3), lēca (4), stiklveida ķermenis (5), tīklene (6), gredzenveida muskulis (7), dzeltenais plankums (8), redzes nervs (9)

stiklveida ķermeņa laušanas koeficients	$n = 1,336,$
acs lēcas laušanas koeficients	$n' = 1,386,$
lēcas laužējvirsmas rādiuss	$r = 5,7 \text{ mm},$
lēcas priekšējā fokusa attālums	$f = -17,1 \text{ mm},$
lēcas aizmugurējā fokusa attālums	$f' = 22,8 \text{ mm},$
lēcas optiskais stiprums	$D = 58,5 \text{ dioptr.}$

Acis tikleni veido divu tipu nervu audi: vālītes un nūjiņas. Vālīšu skaits ir 7 miljoni, to diametrs 5 – 6 μm . Vālītes darbojas normāla apgaismojuma apstākļos, tās nodrošina krāsu redzi. Nūjiņu skaits ir 130 miljonu, to diametrs 1,8 μm . Nūjiņas darbojas vājā apgaismojumā, tās nodrošina krēslas redzi. Nūjiņas satur ķīmisku vielu rodopsīnu, kurā notiek fotoķīmiska reakcija. Absorbējoties gaismas kvantam, rodopsīns sadalās A vitamīnā un olbaltumvielā – retinīnā. Reakcijā atbrīvotā enerģija izraisa redzes kairinājumu, ko nervu audi novada uz smadzenēm. Nesadalīts rodopsīns ir purpura krāsā, reakcijas produkts – dzeltens vai bezkrāsains. Tādēļ fotoķīmisko procesu, kas notiek, apgaismojot rodopsīnu, sauc par redzes purpura izbalēšanu.

Cilvēkiem, pērtiķiem un zivīm ir trīs tipu vālītes, kuras jutīgas violetā, zaļā un sarkanā spektra daļā. Fotoķīmiskās reakcijas vālītēs vēl ir maz izpētītas. Vālītes satur vairākus redzes pigmentus. Viena no šīm vielām ir jodopsīns. G. Valds 1952. gadā konstatēja sakarību starp rodopsīnu, jodopsīnu un trešo pigmentu porfiropsīnu, kas atklāts dažiem dzīvniekiem. Tie atšķiras cits no cita ar pigmenta molekulas olbaltuma daļas dabu un A vitamīna daļas izomēriju. Eksperimenti liecina arī par ceturto pigmenta klātbūtni, jo nevar iegūt visas krāsas, kombinējot tikai divas krāsu komponentes. Saskaņā ar Junga – Helmholca krāsu redzes teoriju, visas krāsas var iegūt, tikai kombinējot trīs pamatkrāsas: sarkano, zaļo un zilo. Baltas gaismas sajūta rodas, ja starojums, ko uztver acs, ir ar nepārtrauktu spektru, kura sadalījums ir tuvs Saules spektra sadalījumam (krāsu temperatūra 5000 – 6000 K) vai arī sastāv no atbilstošas intensitātes sarkanās, zaļās un zilās gaismas.

Vālītes pārsvarā ir novietotas tiklenes centrālajā daļā, kur atrodas dzeltenais plankums. Dzeltenā plankuma centrālajā bedrītē apmēram 0,5 mm^2 lielā laukumā ir koncentrētas tikai vālītes. Šim tiklenes rajonam ir vislielākā izšķirtspēja. Attālinoties no dzeltenā plankuma, palielinās nūjiņu skaits. Tiklenes malās izvietotas tikai nūjiņas. Redzes nervs ienāk acī blakus dzeltenajam plankumam, šajā vietā nav gaismas jutīgu elementu, tas ir aklais plankums.

Tipiskiem dienas dzīvniekiem – vistām, baložiem – ir tikai vālītes. Tipiskiem nakts dzīvniekiem – pūcēm, sikspārņiem – ir gandrīz tikai nūjiņas. Pēc statistikas datiem, apmēram 130 miljoniem cilvēku ir krāsu redzes nepilnības. Visbiežāk tas ir daltonisms, kad neatšķir sarkano krāsu no zaļās krāsas. Šī redzes traucējuma nosaukums cēlies no pazīstamā angļu fiziķa un ķīmiķa Džona Daltona (1766 – 1844) uzvārda, kurš 1794. gadā



Alvars Gulstrands
(1862 – 1930)



Džons Daltons
(1766 – 1844)

aprstija redzes defektu, no kura arī pats cieta. Ar daltonismu slimo ap 2% vīriešu un 0,5% sieviešu. Citi krāsu uztveres traucējumi ir mazāk izplatīti.

Akomodācija. Acs optiskajai sistēmai ir noteikts aizmugurējais nogrieznis (attālums no lēcas līdz tīkļenei). Novērojamā priekšmeta attēlu uz tīkļenes var fokusēt, regulējot acs lēcas optisko stiprumu ar gredzenveidīgā muskuļa palīdzību. Izmainot lēcas virsmas liekumu, tās optiskais stiprums var mainīties 20% robežās.

Acs lēcas parametri	Miera stāvoklī	Saspringtā stāvoklī
Priekšējais rādiuss, mm	10	5,33
Aizmugurējais rādiuss, mm	-6	-5,33
Priekšējais fokuss, mm	-17,055	-14,169
Aizmugurējais fokuss, mm	22,785	18,930
Optiskais stiprums, dioptr.	58,64	70,57

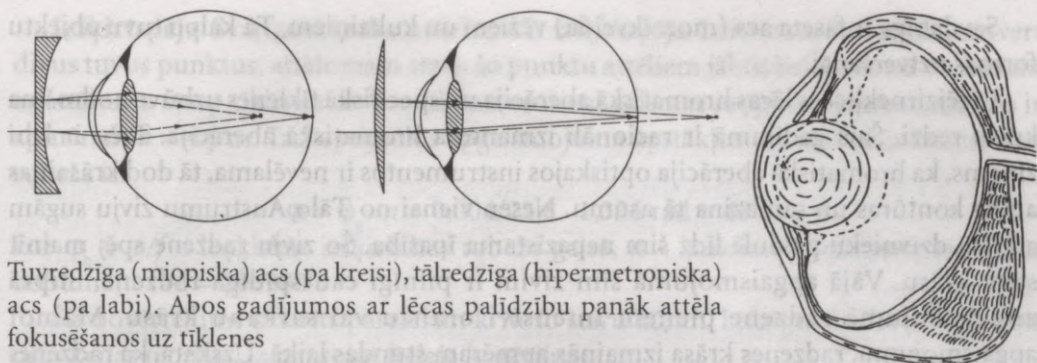
Apgabals, kura robežās acs var asi saskatīt priekšmetu, ir akomodācijas rajons. Aplūkojot tālus priekšmetus, gredzenveida muskulis ir atbrīvots. Vistālāko punktu, kuru šādos apstākļos acs redz asi, sauc par tālo punktu. Punkts, kuru skaidri redz ar vislielāko muskuļa sasprindzinājumu, ir tuvais punkts. Akomodējoties tuvajā punktā, acs ātri nogurst, tāpēc tuvus priekšmetus aplūko labākās redzes attālumā, kas normālai acij ir $l_0 = 25$ cm. Pēc statistiskiem pētījumiem, Gulstranda reducētās acs tuvais punkts atrodas 102,3 mm tālu no radzenes. Ja attālumu no radzenes līdz tālajam punktam apzīmē ar S , bet līdz tuvajam punktam ar s , tad $1/s$ un $1/S$ ir tālā un tuvā punkta refrakcijas. Abu refrakciju starpību $A = 1/s - 1/S$ sauc par akomodācijas platumu.

Normālai acij $A = 1/0,102 - 1/\infty \cong 10$ dioptr. Acs tuvais punkts cilvēka dzīves laikā nepārtraukti palielinās.

Vecums, gadi	s , mm	Vecums, gadi	s , mm
10	71	40	222
20	100	50	400
30	143	60	2000

Projektējot optiskos instrumentus, jāievēro, ka tuvu priekšmetu ilgstoša novērošana ātri nogurdina acis, tāpēc tie jāveido tā, lai novērošanu varētu veikt paralēlu staru kūļos, kad gredzenveida muskulis ir atbrīvots.

Ja acs tālais punkts atrodas bezgalībā, tad tādu aci sauc par emetropisku. Acs, kas neapmierina šo noteikumu, ir ametropiska. Ja tālais punkts atrodas galīgā attālumā, tad acs ir tuvredzīga jeb miopiska. Ja acs paralēlus starus fokusē aiz tīkļenes, tad acs ir tālredzīga jeb hipermetropiska. Ametropiju izraisa acs ābola neatbilstošs garums, kā arī acs lēcas nepareizs izliekums. Ja ametropija ir atšķirīga abās plaknēs, tad tādu aci sauc par astigmatisku. Astigmatisma cēlonis ir acs lēcas sferocilindriska vai toroidāla forma.



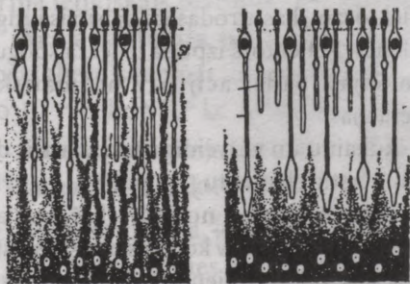
Tuvredzīga (miopiska) acs (pa kreisi), tālrudzīga (hipermetropiska) acs (pa labi). Abos gadījumos ar lēcas palīdzību panāk attēla fokusēšanos uz tīklenes

Tuvredzību koriģē ar negatīvu lēcu, tālrudzību – ar pozitīvu, bet astigmatisma koriģēšanai nepieciešama sferocilindriska jeb astigmatiska lēca.

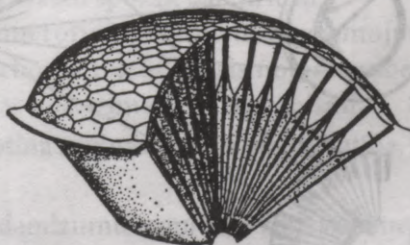
Zivju acim ir lodveida lēca; akomodāciju panāk, pārvietojot lēcu attiecībā pret tīkleni

Acs uzbūves īpatnības dzīvnieku pasaulē. Dažādām mugurkaulnieku klasēm acis ir ar raksturīgām atšķirībām. Cilvēka acs ir piemērota redzēšanai gaisā, kur ārējās vides laušanas koeficients ir 1. Lai varētu iegūt asus objekta attēlus uz tīklenes ūdenī, acs jāpasargā no tieša kontakta ar to, jo ūdens laušanas koeficients ir 1,33, kas ir ļoti tuvs acs lēcas materiāla laušanas koeficientam. Dzīvniekiem, kuri mīt ūdenī, acs piemērota šiem apstākļiem un tās uzbūvē ir dažas īpatnības. Zivs acīm ir plakana radzene un lodveida lēca. Akomodācija zivs acī tiek panākta, pārvietojot lēcu attiecībā pret tīkleni. Dažām dziļūdens zivīm acs labi piemērota vājam apgaismojumam, tām ir lielas teleskopiskas acis. Dažām zivīm acs apvalka aizmugurējā sienā ir gaiša pigmenta kristāli, kas atstaro gaismu atpakaļ tīklenē. Tas izraisa šo zivju acu mirdzēšanu. Četraczivij redzokļi izstiepti vertikālā virzienā. Radzene sadalīta ar starpsienu augšējā un apakšējā nodalījumā. Kad zivs peld ūdens virspusē, acs augšējā daļa var aplūkot gaisa telpu, bet apakšējā – ūdens telpu.

Putnu acis ir daudzējādā ziņā labāk attīstītas nekā citiem dzīvniekiem. Putnu acs ābols ir liels, un tam ir specifiska uzbūve, tāpēc palielinās redzes lauks. Dažām sugām (lijām, ērgļiem) acs ābolam ir pagarināta – teleskopiska – forma, un tīklene satur līdz trīs dzeltenos plankumus. Atšķirīga var būt arī dažādu dzīvnieku tīklenes uzbūve. Lēcēzirnēkļiem tā sastāv no četriem slāņiem. Atšķirīgu viļņu garumu gaisma, pateicoties hromatiskai aberācijai, fokusējas dažādos slāņos. Uzskata, ka tas nodrošina krāsu atšķiršanu.



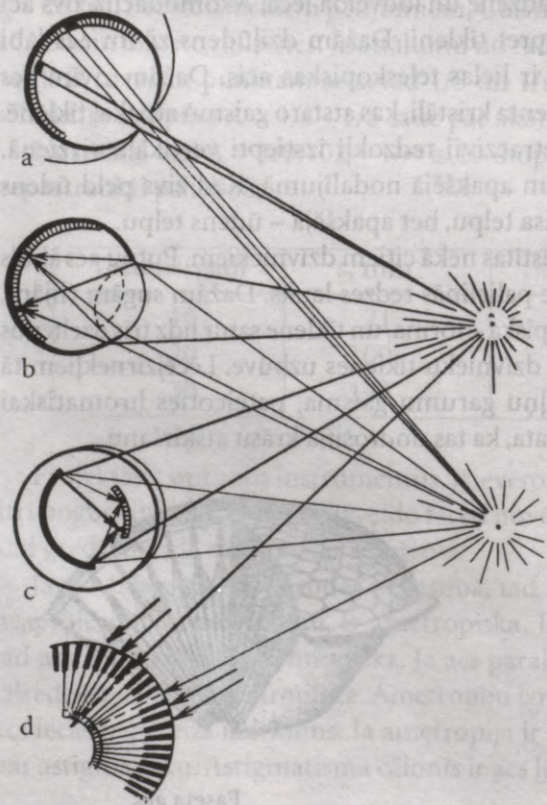
Tīklenes uzbūves shēma



Faseta acs

Savdabīga ir faseta acs (mozaikveida) vēžiem un kukaiņiem. Tā kalpo tuvu objektu formas uztveršanai.

Lēcējzirnekļu acs lēcas hromatiskā aberācija un specifiskā tīklenes uzbūve nodrošina krāsu redzi. Šajā gadījumā ir racionāli izmantota hromatiskā aberācija. Taču ir labi zināms, ka hromatiskā aberācija optiskajos instrumentos ir nevēlama, tā dod krāsainas attēla kontūras un samazina tā asumu. Nesen vienai no Tālo Austrumu zivju sugām atklāta dzīvnieku pasaulē līdz šim nepazīstama īpašība. Šo zivju radzene spēj mainīt savu krāsu. Vājā apgaismojumā šīm zivīm ir pilnīgi caurspīdīga radzene. Stiprā apgaismojumā radzene pieņem intensīvi oranžu vai sarkanu krāsu. Mainot apgaismojumu, radzenes krāsa izmainās apmēram stundas laikā. Uzskata, ka radzenes krāsa ir viens no paņēmieniem, kā palielināt redzes asumu. Sarkanais pigments, kas darbojas kā optisks filtrs, absorbē īsviļņu gaismu. Tādējādi, pirmkārt, tiek noņemta izkliedētās gaismas zilā dūmaka, otrkārt, novērsta acs optiskās sistēmas hromatiskā aberācija. Tādas pašas funkcijas izpilda gaismas filtri, ko plaši izmanto fotogrāfijā kvalitatīvu attēlu iegūšanai. Acs hromatisko aberāciju var konstatēt, naktī novērojot krāsainu reklāmu. Tad ņskiet, ka sarkanie burti ir novietoti tuvāk, bet zaļie – tālāk, vājāk lauztie sarkanie stari prasa zināmu akomodācijas piepūli asa attēla iegūšanai. Situācija ir līdzīga, ja novērojamo (sarkano) gaismas avotu pietuvina novērotājam, salīdzinot ar pārējiem (zaļajiem) avotiem.



Dažādu būtņu acs uzbūves un attēla iegūšanas principi var atšķirties:

a – nautila acs – tā ir kamera ar nelielu diafragmu. Šāda acs darbojas pēc tumšās kameras principa. Divu punktu atšķirtus attēlus iegūst ar divu šauru staru kūļu, ko ierobežo neliela diafragma, palīdzību;

b – galvkāju moluskiem, zirnekļiem, zivīm un sauszemes mugurkaulniekiem attēlu veido acs lēcas vai radzenes optiskā sistēma. Šādai acij ir hromatiskā aberācija. Dažām zivju sugām acs hromatisko aberāciju novērš, mainot gaismas spektrālo sastāvu, atfiltrējot īsviļņu starojumu;

c – plūvurgliemeža acī būtiska loma ir reflektoram, kas atrodas aiz gaismas jutīgās tīklenes. Reflektors izpilda ieliekta spoguļa funkcijas. Šādai acij nav hromatiskās aberācijas;

d – kukaiņu un vēžveidīgo faseta acs ir dažādi vērstu elementu – omatīdu – apvienojums. Atšķirībā no iepriekšējiem acs tipi faseta acij nav kopīgas optiskās sistēmas, kas veidotu vienotu attēlu. Attēls ir atsevišķu elementu mozaika

Izšķirtspēja. Svarīgs acs raksturlielums ir izšķirtspēja. Lai acs varētu izšķirti uztvert divus tuvus punktus, attālumam starp šo punktu attēliem jābūt lielākam vai vienādam ar attālumu starp tiklenes diviem blakus esošiem gaismas jutīgiem elementiem, kas ir apmēram $a = 4 \mu\text{m}$. Tad optimālos apgaismojuma apstākļos acs leņķiskās izšķiršanas robeža ir:

$$\varphi = \varphi_g \cdot n = 0,004/22,8 \cdot 1,336 \text{ rad} = 48'',$$

kur $\varphi_g = a/f$ – leņķiskās izšķiršanas robeža gaisā, n – laušanas koeficients vielai acs dobumā, $1 \text{ rad} = 206280''$.

Šis novērtējums izdarīts paralēlam krītošo staru kūlim. Līdzīgu rezultātu iegūst no difrakcijas teorijas, izmantojot Releja kritēriju:

$$\sin \varphi = \Delta \varphi = 1,22 \lambda/d \text{ rad.}$$

Izvēloties $\lambda = 0,556 \mu\text{m}$, $d = 3 \text{ mm}$, iegūst $\Delta \varphi = 47''$. Labā saskaņa ar iepriekšējo lielumu ir acs ilgstošās evolūcijas rezultāts. Acs reālā lineārā izšķirtspēja Δl , kas raksturo mazāko vēl izšķirto attālumu vai objekta izmēru, ir atkarīga no apgaismojuma E . Vājā apgaismojumā tā ir maza, bet labā apgaismojumā ievērojami palielinās.

Acs izšķirtspēja ir maksimāla 200 – 20 000 lx lielā apgaismojumā. Tad lineārā izšķirtspēja priekšmeta telpā labākās redzes attālumā $l_0 = 25 \text{ cm}$ ir $\Delta l = \Delta \varphi \cdot l_0 = 0,06 \text{ mm}$. Par normālu uzskata apgaismojumu robežās no 50 līdz 200 lx, tad par lineārās izšķiršanas robežu pieņem $\Delta l = 0,1 \text{ mm}$.

$E, \text{ lx}$	$\Delta \varphi'$	$\Delta l, \text{ mm}$
0,0001	50	4
0,001	17	1,2
0,01	9	0,6
0,1	3	0,2
1	1,5	0,11
10	0,9	0,07
100	0,8	0,06
1000	0,7	0,05
10000	0,7	0,05

Gauss atstāsta gadījumu, ka viņš ieteicis savai mātei palūkoties ar teleskopu uz Veneru, kas spoži mirdzējusi pie vakara debesīm. Gauss bija cerējis savu māti pārsteigt ar neparasto skatu, jo teleskopā Venera redzama sirpja formā. Taču pārsteigumu piedzīvoja pats Gauss. Palūkojusies teleskopā, sieviete nav izrādījusi nekādu izbrīnu par planētas formu, tikai painteresējusies, kāpēc sirpis tālskatī ir pagriezts uz pretējo pusi. Izrādījies, ka Gausa māte varējusi atšķirt Veneras fāzes pat ar neapbruņotu aci. Tik liela izšķirtspēja ir ļoti reta parādība. Venera visspožāk mirdz trīs dekādes pēc jaunās fāzes iestāšanās, kad tās leņķiskais diametrs ir $40''$ un sirpja leņķiskais platums $10''$. Tad Venera mirdz 13 reizi spožāk par Sīriusu.

Acs adaptācija un jutība. Acs īpašību piemēroties dažādiem apgaismojuma apstākļiem sauc par adaptāciju. Acs ir spējīga darboties plašās apgaismojuma robežās no 10^{-7} lx līdz 10^5 lx . Adaptāciju tik plašās robežās nodrošina četri mehānismi.

- Mazā apgaismojumā ($10^{-7} - 1 \text{ lx}$) redzi nodrošina nūjiņas, kam ir augsta jutība, bet samazināta izšķirtspēja.
- Apgaismojumā, kas tuvs normālam, gaismas daudzumu regulē acs zilītes diametrs, kas var mainīties no 2 līdz 8 mm. Tas nodrošina gaismas plūsmas izmaiņu 16 reizi.

- Intensīvā apgaismojumā samazinās nesadalītās gaismas jutīgās vielas daudzums tiklīnē, kas automātiski samazina acs jutību.
- Tumšais pigments, kas atrodas zem gaismas jutīgajiem elementiem, pārvietojas virspusē un tos ekranē – darbojas retinomotorais efekts.

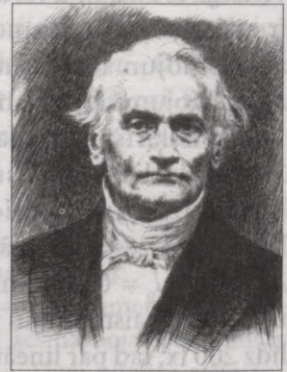
Acs jutību raksturo vismazākais gaismas daudzums, kas izraisa redzes sajūtu. Nūjiņām tas ir $2 \cdot 10^{-14}$ lm. Lai adaptētos šādam apgaismojuma līmenim, nepieciešams zināms laiks. Tumsas adaptācija ilgst apmēram 30 min, gaismas adaptācija nedaudz mazāk – apmēram 20 min.

Cilvēka acs ir jutīga pret elektromagnētisko starojumu viļņu garumu rajona robežās no 0,38 μm līdz 0,76 μm . Daži kukaiņi uztver UV starojumu līdz 300 nm, bet ķirzakas arī tuvo IS starojumu. Dažādu viļņu garumu iedarbība ir atšķirīga. To raksturo spektrālā jutība. Ja ar F apzīmē gaismas plūsmu lūmenos, bet ar F_c gaismas enerģijas plūsmu vatos, tad acs spektrālā jutība ir $\gamma_\lambda = F/F_c$ lm/W. Cilvēku acs jutība ir maksimāla dzeltenī zaļajā spektra daļā, kas atbilst 0,555 μm viļņu garumam. Šajā rajonā 1 W liela starojuma jauda izraisa gaismas sajūtu, kas pēc jaunākajiem pētījumiem atbilst 625 lm. Svarīgs acs raksturlielums ir acs relatīvā spektrālā jutība $k_\lambda = \gamma_\lambda/\gamma_0$, kur $\gamma_0 = 625$ lm/W, tad:

$$\gamma_\lambda = \gamma_0 \cdot k_\lambda = 625 k_\lambda \text{ lm/W.}$$

Apgriezto lielumu $1/\gamma_0 = 0,00160$ W/lm sauc par mehānisko gaismas ekvivalentu.

Nūjiņu spektrālās jutības likne ir pārbīdīta īso viļņu virzienā, tās maksimums atbilst 0,510 μm viļņu garumam. Šo parādību 1825. gadā atklāja čehu fiziologs Jans Purkiņe (1787 – 1869) un to sauc par Purkiņes efektu.

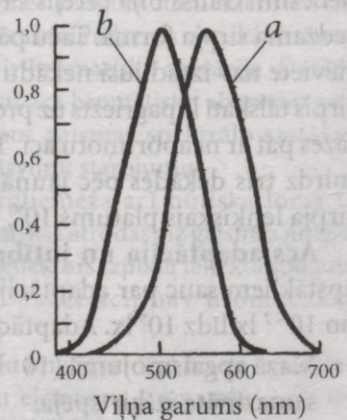


Jans Purkiņe
(1787 – 1869)

λ , nm	k_λ	λ , nm	k_λ
400	0,0004	580	0,870
440	0,023	620	0,381
480	0,139	680	0,017
500	0,323	700	0,0041
520	0,710	720	0,00105
555	1,000	750	0,00006

Līdzās acs spektrālajai jutībai ļoti būtisks parametrs ir redzes sajūtas absolūtais enerģētiskais sliekšnis. To 1942. gadā pētīja S. Hehts, S. Šlaers un M. H. Pirene. Veicot šo uzdevumu, jāievēro virkne noteikumu.

- Jābūt pilnīgai acs tumsas adaptācijai.
- Gaisma jākoncentrē tiklīnē rajonā, kur bagātīgi izvietotas nūjiņas. Tas ir rajons, kas veido $20^\circ - 30^\circ$



Relatīvā jutība gaismas adaptētai (a) un tumsas adaptētai (b) acij

lielu leņķi ar acs optisko asi. Acs fiksēšanai vajadzīgā stāvoklī izmanto vāju sarkanu gaismas avotu, kas neizjauc tumsas adaptāciju.

- Jāizvēlas tāds objekta izmērs, lai tā projekcija būtu pietiekami liela un pārklātu tiklenes rajonu, kas satur zināmu nūjiņu skaitu.
- Gaismas uzliesmojumiem jāilgst, lai nodrošinātu procesa maksimālo kvantu iznākumu. Sliekšņa enerģija ir mazāka īsiem gaismas impulsiem. Izvēlēta impulsa ilgstība 0,001 s.
- Jāizvēlas viļņu garumu rajons, kur acs jutība ir vislielākā. Nūjiņām tas ir 510 nm.

Redzes sajūtas absolūto enerģētisko sliekšni var izteikt vatos, un tā vērtība ir robežās no $2,1 \cdot 10^{-17}$ līdz $5,7 \cdot 10^{-17}$ W. Tā kā gaismas kvanta enerģija 510 nm viļņu garumam ir $E = h\nu = 3,8 \cdot 10^{-19}$ Ws, tad, lai izraisītu redzes sajūtu, aci jānokļūst no 54 līdz 148 gaismas kvantiem sekundē. Taču ne visi šie kvanti absorbējas tiklenes gaismas jutīgajā pigmentā. Gaisma savājinās acs optiskajā sistēmā: 4% atstaro radzene, 50% no atlikuma absorbējas acs optiskajā vidē, rodopsīns absorbē apmēram 20% no tiklenē nonākušās gaismas. Rezultāts – absolūtais redzes sajūtas sliekšnis ir no 5 līdz 14 kvantiem sekundē. Salīdzinot ar fotoelementiem, ko izmanto tehnikā, acs ir ļoti jutīgs instruments.

Elektromagnētiskā starojuma viļņu garumi mainās ļoti plašās robežās no 10^3 līdz 10^{-11} m. Salīdzinot ar to, rajons, kuru uztveram kā gaismu ($0,38 \cdot 10^{-6}$ – $0,76 \cdot 10^{-6}$ m), ir ļoti mazs. Tam ir svarīgi iemesli. Viļņiem, kuri ir īsāki par $0,38 \mu\text{m}$, t. i., UV starojumam, ir liela kvantu enerģija, un tie stipri iedarbojas uz dzīvjiem organismiem, izraisot organisku vielu sabrukšanu. Cilvēka āda, kas pakļauta UV staru iedarbībai, pārklājas ar tumšu pigmentu. Pigments pasargā organismu no lielu UV starojuma dozu iekļūšanas tajā. Aci UV starojums nenokļūst, pateicoties absorbcijai acs lēcā. UV staru absorbcija var izraisīt acs lēcas luminiscenci. Ilgstoša UV staru iedarbība veicina radzenes iekaisumu un var radīt pat aklumu. Starojums, kuru viļņu garums ir lielāks par $0,76 \mu\text{m}$, ir IS stari. IS stari absorbējas tiklenē. Ilgstoša siltumiedarbība uz tikleni ir kaitīga. Turklāt ķermeņa temperatūrā (37°C ; 310 K) acs pati kļūst par IS staru avotu. Ja acs jutība pret IS stariem būtu tāda pati kā spektra dzeltenī zaļajā daļā, tad gaismas stiprums aci sasniegtu $5 \cdot 10^6$ cd. Tādos apstākļos acs nespētu pildīt savas funkcijas.

Negaidītas acs īpašības atklājās kosmiskās telpas apgūšanas gaitā. 1969. gada jūlijā kosmiskais kuģis "Apollo – 11" veica Mēness ekspedīciju. Ekipāžas locekļi Edvīns Oldrins, Nils Ārmstrongs un Maikls Kolins pievērsa uzmanību gaismas zibšņiem, kurus novēroja arī tad, kad acis bija aizvērtas. Vēlāk noskaidrojās, ka šos zibšņus izraisa lielas enerģijas lādētās daļiņas, kas nonāk kuģa kabīnē un iedarbojas uz acs tikleni. Pētījumi parādīja, ka ilgstošu lidojumu veikšanai kosmiskajā telpā nepieciešama speciāla aizsargsistēma, lai pasargātu centrālās nervu sistēmas un acs tiklenes šūnas no sabrukšanas.

Vēbera – Fehnera likums. Acs reakcija uz kairinājuma līmeņa maiņu nav lineāra. Tas ir saistīts ar acs spēju labi funkcionēt plašās (ap miljonus reižu) spožuma maiņas robežās. Vācu anatoms un psihofiziologs Ernsts Vēbers (1795 – 1878) laikā no 1830. līdz 1834. gadam atklāja likumsakarību starp ārējā fizikālā kairinājuma iedarbības spēku un tā izraisīto subjektīvo reakciju – sajūtas intensitāti. Maņu orgāni neuztver absolūto, bet gan relatīvo kairinājuma intensitātes pieaugumu. Piemēram, ja 100 lx sākotnējā

apgaismojumā acs jūt tā izmaiņu, palielinot to par 2,5 lx, tad 200 lx lielā apgaismojumā tā izmaiņu jutīs, palielinot par 5 lx. Vācu zinātnieks fiziķis un psihologs Gustavs Fehners (1801 – 1887), kurš sliktās redzes dēļ vēlāk pievērsies filozofijai, 1858. gadā matemātiski apstrādāja Vēbera rezultātus un tos piemēroja redzes sajūtai. Viņš secināja, ka, izmainoties objekta spožumam no B_1 līdz B_n , redzes sajūtas izmaiņa ir proporcionāla $\lg B_n - \lg B_1$. Ja kairinājuma līmenis pieaug ģeometriskā progresijā, sajūta aug aritmētiskā progresijā. Piemēram, 1 lx, 10 lx, 100 lx un 1000 lx apgaismojuma līmeņiem atbilstošās kairinājuma intensitātes izmaiņas $D = \lg(B_n/B_1)$ būs viena, divas un trīs vienības (Vēbera – Fehnera likums). Šā apstākļa dēļ ar aci nevar noteikt, cik reižu viena gaismas plūsma ir stiprāka vai vājāka par otru, taču var precīzi konstatēt šo plūsmu vienlīdzību. Šo faktu izmanto vizuālajā fotometrijā un spektrālnalīzes vizuālajās metodēs.

Šāda tipa novērojumus var veikt arī dabā. Kad Džons Heršels ceļoja uz Dienvidāfriku un kuģis nonāca Keiptaunā, zinātnieks ieraudzīja, ka gandrīz pilns Mēness paceļas virs kalna, ko apgaismoja rietošās Saules stari. Heršelu pārsteidza, ka klintis šķita spožākas par Mēnesi. Tas vedināja uz domām, ka Mēness virsma ir veidota no tumšiem iežiem (vulkāniskiem pelniem). Ja Mēness virsma un klintis būtu veidotas no viena un tā paša materiāla, tad to spožumam jābūt vienādam, neraugoties uz attāluma atšķirībām. Tagad ir zināms, ka Mēness atstaro apmēram 7% Saules gaismas.

Zinot acs īpašības, var secināt, ka zvaigžņu iedalījums klasēs neradās gadījuma pēc, bet gan izrietēja no minētajām acs īpašībām. Ja zvaigžņu spožums samazinās ģeometriskā progresijā, tad acs to uztver kā gaismas uztveres intensitātes samazināšanos aritmētiskā progresijā, t. i., kā intensitātes samazināšanos par pastāvīgu lielumu. Tā 6. lieluma zvaigzne ir par pieciem lielumiem vājāka nekā 1. lieluma zvaigzne. Gaismas daudzums, kas nāk no tām, atšķiras 100 reižu. No šā eksperimentāli iegūtā fakta var izskaitļot ģeometriskās progresijas reizinātāju q , uz kura balstīts iedalījums zvaigžņu lielumos; $q = \sqrt[5]{100} = 2,512 \approx 2,5$. Ja zvaigznes spožums mainās 2,5 reizes, tad tās lielums mainās par vienu vienību. Zvaigžņu lielumi, ko savā laikā ieviesa Hiparhs, izrādījās ērts zvaigžņu spožuma mērs. Tagad astronomi prot ļoti precīzi noteikt zvaigžņu spožumus, un tos var raksturot ar skaitļiem, kam ir divas zīmes aiz komata.

Ja viena zvaigzne dod apgaismojumu E_1 , bet otra E_2 , tad to lielumu starpība ir $m_1 - m_2 = -2,5 \cdot \lg E_1/E_2$, kur m_1 un m_2 – zvaigžņu lielumi. Spožām zvaigznēm to lielumi var būt negatīvi. Saules redzamais zvaigžņu lielums ir $-26,8$.

Zvaigznājs	Zvaigzne	Lielums	Attālums, g. g.
Lielais Suns	Sīriuss	- 1,58	8,7
Lira	Vega	0,14	26
Mazais Lācis	Polārzvaigzne	2,1	460
Orions	Betelgeize	0,4 – 1,3	490
Vedējs	Kapella	0,21	45
Vērsis	Aldebarans	1,06	65
Centaurs	Centaurs α	- 0,28	4,3

Saules un Kapellas zvaigžņu lielumu starpība ir $m_1 - m_2 = -26,8 - 0,21 = -27,01$. Tātad $27,01 = 2,5 \cdot \lg E_1/E_2$ un $E_1/E_2 = 10^{10,8} = 62\,500\,000\,000$. Saule dod 62 miljardus reižu lielāku apgaismojumu nekā Kapella.

Objektus var novērot uz apkārtnes fona, pateicoties to spožuma un krāsainības atšķirībai. Redzamības noteikšanai svarīgāks ir spožuma kontrasts, kuru definē šādi:

$$K_0 = (B_{ob} - B_f) / (B_{ob} + B_f),$$

kur B_{ob} – objekta spožums, B_f – fona spožums. Ja $B_{ob} < B_f$ tad iegūst negatīvu kontrastu. Ideāli melnam ķermenim $K_0 = -1$, ja fona spožums atšķiras no nulles. Ja $B_{ob} \gg B_f$ tad kontrasts var būt tuvs $+1$, piemēram, ja novērojam gaismas avotu uz nakts debess fona. Minimālo spožuma starpību, ko acs vēl atšķir, $\Delta B_{min} = (B_{ob} - B_f)_{min}$ sauc par spožuma starpības sliekšni, bet attiecību

$$\Delta B_{min} / B_f = \epsilon$$

par kontrasta sliekšni. Vislielākā acs kontrasta jutība ir 5000 cd gaismas stiprumam. Kontrasta jutība nedaudz mainās apstākļos, ja gaismas stiprums ir robežās no 200 līdz 20 000 cd. Stiprā un vājā apgaismojumā kontrasta sliekšņa vērtība ievērojami palielinās.

Redzes procesa īpatnības. Vizuālai novērošanai ir dažas īpatnības, kuras nepiemīt televīzijas un fotogrāfiskai attēla iegūšanas metodei. Labā apgaismojumā un novērojamo objektu pietiekami lielam leņķiskam izmēram ($20' - 30'$) acs kontrasta jutības sliekšnis ir 2%. Fotogrāfiskajam un televīzijas attēlam tas ir atbilstoši 10 – 15% un 15 – 25%. Atmosfēra rada zināmas korekcijas, to samazinot, sevišķi telpā starp mākoņiem un zemi. Tad kontrasta minimālās vērtības būs 4%, 20% un 30%. Tas nozīmē, ka cilvēka acs labāk atšķir novērojamo objektu un detaļu īpatnības, salīdzinot ar fotogrāfiju un televīzijas attēlu. Ar aci var ieraudzīt to, kas nav pieejams ne fotogrāfijai, ne televīzijas attēlam. Pēc kosmonautu apgalvojuma, Zemes virsmas vizuālā aina no kosmosa būtiski atšķiras no tās, kas redzama fotogrāfijās un ko novēro televīzijā. Turklāt vizuālās ainas ir kontrastainākas.

Amerikāņu astronauts H. Šmits pamatoti atzīmēja, ka cilvēka acs un smadzenes ir labākā izzināšanas sistēma, kas veic optisko novērošanu un iegūtās informācijas matemātisko apstrādi. Lielas iespējas paver redzes īpašība atšķirt dažādu virsmu un atmosfēras veidojumu nelielas krāsu un spožuma izmaiņas. No 200 – 300 km augstuma var atšķirt neliela izmēra un kontrasta objektus. Pēc aprēķinu datiem, cilvēks ar normālu redzi šādā augstumā var saredzēt 200 – 300 m lielus objektus. Prakse pierāda, ka sevišķi labvēlīgos apstākļos kosmonauti varējuši saredzēt objektus, kuru izmēri ir daži desmiti metru: raķešu starta laukumus, ielas, kurtuvju dūmu stabus, motorlaivas un kuģus pēc to pēdām uz ūdens virsmas. Būtiski, ka tagad, projektējot aparatūru Zemes resursu

I, cd	ϵ , %
200 000	4,25
50 000	2,25
20 000	1,83
5 000	1,58
1 000	1,98
200	2,35
50	3,78
20	4,60
10	6,10
5	10,3
2	16,7
1	21,2
0,5	27,6
0,2	33,2

izpētei, ņem vērā kosmonautu līdzdalību eksperimentos. Objektu un iegūto datu atlase palielina derīgās informācijas daļu. Ir iespējams realizēt tos pētījumus, kurus var veikt vispiemērotākajos apstākļos.

Mēs pasaulē lūkojamies ar divām acīm. Rodas jautājums, kāpēc mēs uztveram tikai vienu attēlu, nevis divus. Pētījumi rāda, ka tas ir ļoti sarežģīta redzes akta rezultāts. Gaismas kairinājums no aplūkojamā objekta krīt uz noteiktu tiklenes daļu. Abu acu optiskās asis vērstas tā, lai to redzes lauki ievērojami pārklātos. Centrālā nervu sistēma, kad tur no tiklenes nonāk redzes impulsi, integrē abus attēlus vienā. Šo procesu sauc par binokulāro jeb stereoskopisko redzi, un tas nozīmē objektu telpisku attēlu iegūšanu un attāluma uztveršanu. Attāluma novērtēšanas pamatā ir leņķa izmaiņa starp acu optiskajām asīm, novērojot tuvākus un tālākus objektus. Stereoskopiskās uztveres robeža $\eta = 10' = 4,9 \cdot 10^{-5}$ rad. Acs pārstāj fiksēt punktu attālumu atšķirības, ja attālums līdz novērojamiem priekšmetiem $R = b/\eta = 1300$ m, kur b ir attālums starp acīm, kura vidējā vērtība ir 65 mm. Binokulārā redze ļauj pilnīgāk novērtēt apkārtējo pasauli un izjust telpu, nekā skatoties ar vienu aci.

Gaismas kairinājums no aplūkojamā objekta krīt uz noteiktu tiklenes daļu. Binokulārajā redzē vienlaikus tiek kairināti abu acu tikleņu identiski rajoni. Šie rajoni atbilst viens otram un ir funkcionāli savstarpēji saistīti. Tos sauc par korespondējošiem rajoniem. Tieši šajos rajonos veidotie attēli saplūst vienā. Ja attēli nenonāk uz tiem, saplūšana nenotiek. Par to var pārliecināties katrs pats, viegli caur plakstiņu uzspiežot acs ābolam, tad priekšmetu attēli dubultojas.

Binokulāro redzi vada sarežģīts mehānisms, kas attēlu lokalizē tiklenes identiskos punktos un vienlaikus maina acs lēcas liekumu, lai varētu asi novērot dažādi attālinātus objektus. Šie divi procesi (konverģence un akomodācija) notiek automātiski, vienlaikus un saskaņoti. Binokulārā redze veidojas pieredzes ceļā bērnībā pēc divu gadu vecuma. Ja binokulārā redze tiek traucēta, veidojas šķielēšana. Šķielēšanas iemesli var būt dažādi un ne vienmēr tos var precīzi noteikt. Bērniem tā bieži attīstās, ja acij ir laušanas spējas defekti.

Atšķirībā no mākslīgi izgatavotiem optiskiem instrumentiem, kur izmanto ahromatiskus objektīvus, acij piemīt hromatiskā aberācija. Redzamā spektra malējiem stariem tā var sasniegt apmēram 2 dioptrijas. Acs spektrālās jutības selektivitāte un nelielie redzokļa izmēri aberācijas traucējumus praktiski izslēdz. Acij piemīt arī sfēriskā aberācija un koma, taču maziem redzokļa diametriem tās nav lielas un praktiski nebojā attēla kvalitāti. Attēla izliekums un distorsija ir maza, jo attēls veidojas uz sfēriskas tiklenes virsmas. Attēla optiskās nepilnības pastiprinās krēslā, kad ir liels redzokļa diametrs. Šādos apstākļos priekšmetu attēli kļūst mazāk kontrastaini un ir neasi.

Acs kā optisks instruments apmierina virkni pretrunīgu prasību. Tai ir augsta izšķirtspēja un jutība, kā arī liels redzes lauks. Horizontālajā plaknē redzes leņķis uz sāniem ir 95° , uz centru 65° . Vertikālajā plaknē redzes leņķis uz augšu ir 60° , bet uz leju 72° . Acs perifērijas daļu izmanto, lai orientētos. Pateicoties acs kustīgumam, novērojamo priekšmetu attēli ātri tiek novirzīti dzeltenajā plankumā, kura redzes leņķis ir $6^\circ - 8^\circ$. Dzeltenā plankuma centrālajā daļā $2,5^\circ$ lielā redzes leņķī atrodas tikai vāļītes. Šeit katrai vāļītei ir pievadīta sava nervu šķiedra. Tādēļ dzeltenā plankuma centrālajai daļai ir

vislielākā izšķirtspēja, bet tā ir nejutīga mazā apgaismojumā – ļoti sliktā apgaismojumā objektu neredz, ja uz to tieši lūkojas.

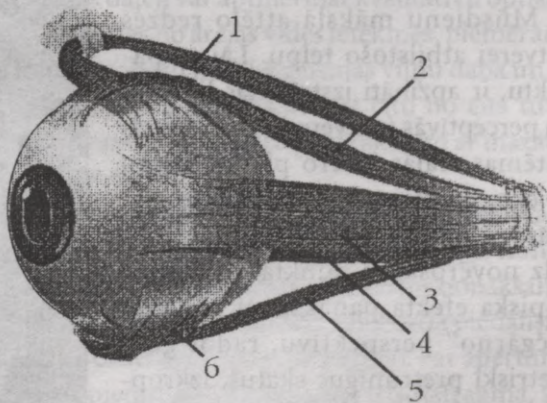
Raugoties portretā, šķiet, ka tajā attēlotais cilvēks ar acīm seko skatītājam neatkarīgi no tā, kādā rakursā skatītājs raugās uz portretu. Zinātnes popularizētājs J. Perelmans to skaidro šādi: “Visu izskaidro tas, ka redzoklis šajos portretos novietots acs vidū. Tieši tā mēs redzam cilvēka acis, kurš skatās tieši uz mums; kad viņš skatās sāņus mums garām, tad redzoklis un varavīksnene mums šķiet neesam acs vidū, bet gan nedaudz pārvietota malā. Kad mēs paejam sāņus no portreta, redzokļi, protams, savu stāvokli nemaina – paliek acs vidū, tā kā arī visu seju mēs turpinām redzēt iepriekšējā stāvoklī attiecībā pret mums, tad mums, protams, šķiet, it kā portretā attēlotais cilvēks pagrieztu galvu uz mūsu pusi un sekotu mums.” Šāds skaidrojums kopumā ir pareizs. Taču jāpapildina, ka vērotāja skatienu galvenokārt piesaista portreta acis. Faktiski nevis portretā attēlotais seko mums, bet gan mūsu skatiens nepārtraukti atgriežas pie acīm portretā. Tās mums šķiet visinteresantākās detaļas.

Psihologs A. Jarbuss veica interesantus eksperimentus. Viņš piestiprināja brīvprātīga skatītāja acij vieglu gumijas piesūcekni ar spogulīti. Kad tika aplūkota fotogrāfija, virzītu staru kūli atstaroja no spoguļiņa uz fotopapīru, kur atzīmēja acs ābola kustības. Jarbuss secināja, ka eksperimenta dalībnieka skatiens daudzkārt atgriežas pie acīm aplūkojamā portretā: “Aplūkojot cilvēka seju, skatītājs parasti visvairāk uzmanības velti acīm, lūpām, degunam. Cilvēka acis un lūpas ir sejas visizteiksmīgākie elementi.”

Bez visa minētā acs ir arī ļoti kustīga. Acis kustības dēļ var novērot apmēram 120 punktus minūtē. Katra punkta novērošanai tiek patērētas 0,2–0,3 s. Tas ļauj priekšmetu novērot pa daļām, fokusējot uz dzelteno plankumu visvairāk interesējošās objekta detaļas. Pateicoties šim acs īpašībām, pat ievērojami tās trūkumi būtiski neietekmē redzes kvalitāti.



Blumbergena portrets. Šķiet, it kā attēls pagrieztu galvu uz mūsu pusi un ar savu skatienu sekotu mums



Acis grozītājmuskuļi nodrošina tās kustīgumu:

- 1 – augšējais slīpais pagriež acs ābolu uz leju un uz āru;
- 2 – augšējais taisnais pagriež uz augšu un uz iekšu;
- 3 – sānu taisnais pagriež uz āru;
- 4 – vidējais taisnais pagriež uz iekšu;
- 5 – apakšējais taisnais pagriež uz leju un uz iekšu;
- 6 – apakšējais slīpais pagriež uz augšu un uz āru (attēls atbilst labajai acij)

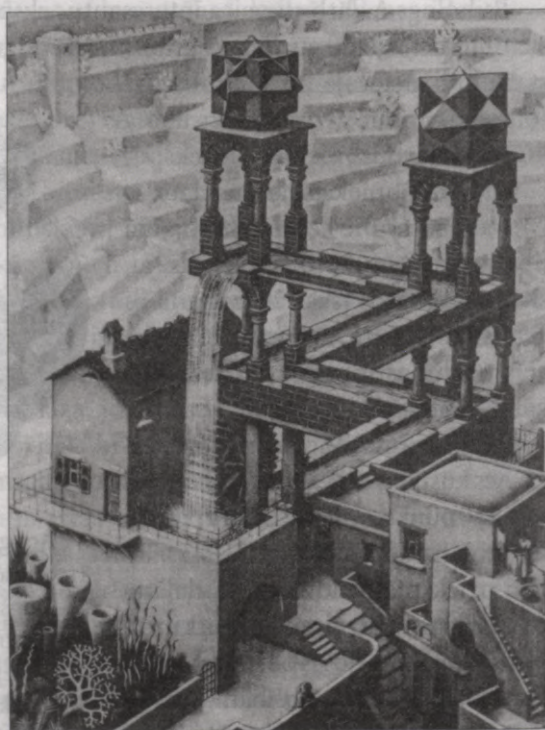
Angļu psihologu eksperimenti pierādīja, ka mūsu skatienu piesaista jebkuri divi riņķīši, kas horizontāli novietoti blakus. Efekts ir sevišķi izteikts, ja to iekšpusē ir mazāka izmēra riņķīši, kas atgādina redzokļus. Iespējams, ka šī reakcija ir pārmantota no senčiem. Daudziem dzīvniekiem tiešs, vērsts skatiens ir draudu signāls. Dažiem tauriņiem evolūcijas procesā uz spārniem izveidojušies koncentriski riņķi, kas atgādina acis un kalpo aizsardzībai.

Glezniecībā trīsdimensiju telpu attēlo plaknē. Šo efektu var panākt ar dažādiem paņēmieniem. Jau sen pirms ortogonālās (taisnleņķu) projekcijas metodes izstrādes Gaspara Monža un citu 18. gadsimta beigu un 19. gadsimta sākuma matemātiķu pētījumos šī metode tikusi izmantota Senās Ēģiptes, Babilonijas un Asīrijas mākslinieku darbos. Objektus attēloja, tos ģeometriski neizkropļojot. Tagad šo metodi izmanto rasēšanā, parādot objektu trīs projekcijās, un tūristu shēmās, apvidus plānā attēlojot arhitektūras pieminekļus sānskatā.

Mūsdienu mākslā attēlo redzes uztverei atbilstošo telpu. Lai to panāktu, ir apzināti izstrādātas lineārās un perceptīvās (uztveres) perspektīvas sistēmas. Tajās ievēro plaknē tēlotu objektu šķietamās lieluma, kontūru un krāsu izmaiņas atbilstoši attālumam līdz novērošanas punktam. Dažreiz telpiska efekta panākšanai izmanto "ačgārno" perspektīvu, radot ģeometriski pretrunīgus skatus, izkropļojot attēlojamo objektu topoloģiju. Spilgts piemērs ir M. Ešera gleznas, kurās apzināti izdarītas daudzas ģeometriskas kļūdas. Tās kalpo par spēcīgu izteiksmes līdzekli.



Ilustrācija no "Miruso grāmatas". Ozīris pie diķa ar kokiem un vīnogulāja stīgu. Senā Ēģipte, 15. gadsimts p. m. ē. Mākslinieks objektu attēlojis raksturīgākajā, ar informāciju bagātākajā veidā. Cilvēka kājas un seja attēlotas profilā, pleci – skatā no priekšas, koki pie diķa attēloti sānskatā



M. Ešers. Ūdenskritums

4. 7. Optiskie instrumenti

Optisko instrumentu izšķirtspēja. Vairākums optisko ierīču kalpo dažādu objektu attēlu veidošanai. Šo uzdevumu veic arī acs. Ja objekts ir sīks vai arī atrodas ļoti tālu un tā aplūkošana ir apgrūtināta, var izmantot lupu, mikroskopu vai tālskati. Ar šo ierīču palīdzību palielina leņķi, kādā novēro objektu, t. i., veido tā palielinātu attēlu uz acs tīklenes. Tālāko gaismas kairinājuma pārvēršanu redzes tēlā veic smadzenes. Tīklieni var aizvietot ar kādu gaismas jutīgu materiālu, piemēram, fotofilmu. Tad acs funkcijas izpilda fotoaparāts, fiksējot aplūkotā objekta attēlu fotoemulsijā.

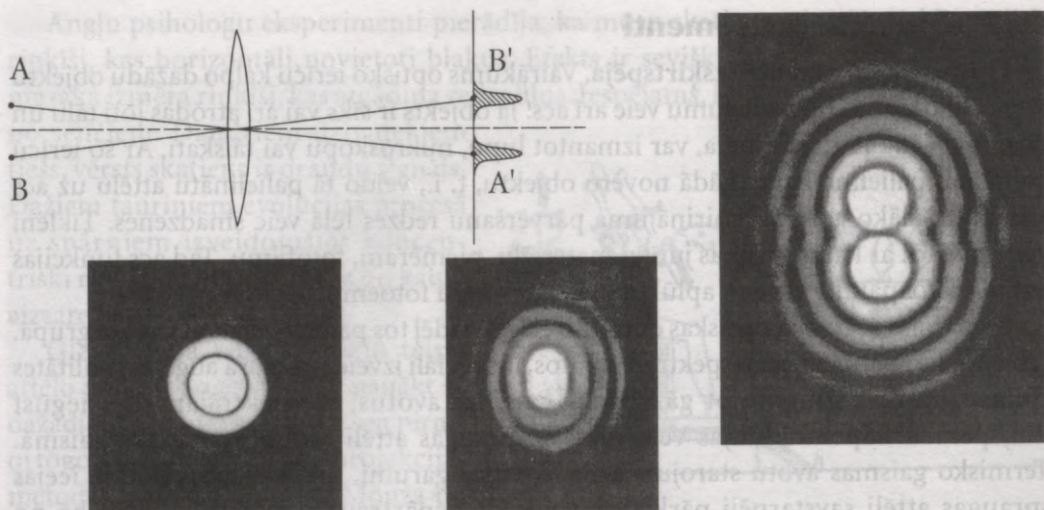
Spektrālaparāti ir specifiskas optiskas ierīces, tādēļ tos parasti iedala atsevišķā grupā. Objekts, kura attēlu iegūst spektrālaparātos, ir speciāli izveidota šaura augstas kvalitātes ieejas sprauga. Izmantojot gāzizlādes gaismas avotus, ar spektrālaparātu iegūst līnijaspektrus. Spektrālīnijas veido ieejas spraugas attēli monohromatiskā gaismā. Termisko gaismas avotu starojumā ir visi viļņu garumi, un šo viļņu veidotie ieejas spraugas attēli savstarpēji pārklājas, veidojot nepārtrauktu spektru. Atšķirībā no mikroskopa un tālskata spektrālaparātos optiskā sistēma ir papildināta ar disperģējošu elementu: prizmu, difrakcijas režģi vai interferometru, kas spektrāli sadala gaismu.

Bez jau minētajiem aparātiem plašu instrumentu klāstu veido apgaismes un signalizācijas (prožektorī, bākas), projekcijas (episkopi, diaskopi, kino projektori, projekcijas iekārtas planetārijiem) un daudzi citi speciālas nozīmes instrumenti (goniometri, polarimetri, difraktometri, elektronoptiskie pārveidotāji u. c.).

Visos gadījumos, kad izmanto optiskas ierīces, ir svarīgi iegūt kvalitatīvu attēlu. Izmantojot mikroskopu, tālskati vai fotoaparātu, jāraugās, lai iegūtais attēls pēc iespējas mazāk atšķirtos no oriģināla. Savukārt spektrālajos mērījumos ir svarīga aparāta spēja izdalīt šaurus spektrālos intervālus. Šīs prasības daļēji var apmierināt kvalitatīvu optisko detaļu izvēle, novēršot aberācijas. Grūtāk izvairīties no ārējās vides ietekmes, piemēram, atmosfēras blīvuma fluktuācijām. Taču iespēju robežu nosaka gaismas viļņu daba un to raksturo attiecīgā aparāta izšķirtspēja. Izšķirtspēja ir īpašība atšķirt citu no cita tuvu novietotus objektus vai objekta sīkas detaļas. Kvantitatīvi izšķirtspēju raksturo ar mazāko vēl izšķiramo lineāro, leņķisko vai spektrālo attālumu.

Gaismas taisnvirziena izplatīšanās, laušana un atstarošanās ir interferences rezultāts. Arī attēls optiskā sistēmā rodas interferences procesā vietā, kur gaismas viļņi nonāk vienādās fāzēs un viens otru pastiprina. Taču jāatceras, ka gaismas viļņi pirms nonākšanas attēla plaknē iziet cauri optiskai sistēmai un tiek diafragmēti. Attēla veidošanā piedalīsies tikai tie stari, t. i., tā viļņu frontes daļa, kas izies cauri apertūras diafragmai. Par apertūras diafragmu kalpo vai nu speciālas diafragmas, piemēram, fotoaparāta irisdiafragma, vai arī optisko detaļu ietvari, piemēram, spektrālaparāta prizmas gabarīti. Difrakcijas dēļ apertūras diafragmā gaismas sadalījums attēlā atšķiras no gaismas sadalījuma objektā. Atšķirības pakāpe atkarīga no apertūras diafragmas lieluma un formas.

Iedomāsimies, ka novērojamais objekts ir divi punktveida gaismas avoti A un B, starp kuriem attālumu var patvaļīgi mainīt. Ja punkti A un B sakrīt, tad attēla plaknē iegūst apli, kurā intensitātes sadalījumu apraksta Eri funkcija. Eri pirmā tumšā gredzena



Ja punkti A un B sakrīt, tad attēla plāknē iegūst apli, kurā intensitātes sadalījumu apraksta Eri funkcija (b). Sākot ar maziem attālumiem A'B', novēro plankuma deformāciju (c). Tas kļūst tuvināti ovāls. Pēc tam, ja A'B' kļūst lielāks par Eri apļa rādiusu, plankumi atdalās (d)

rādiuss, izsakot leņķa vienībās, $\varphi = 0,61 \lambda/a$, kur a – apertūras rādiuss. Ideālā gadījumā optisko detaļu aberācijas, defokusēšanas efektus un vides blīvuma svārstības neievēro.

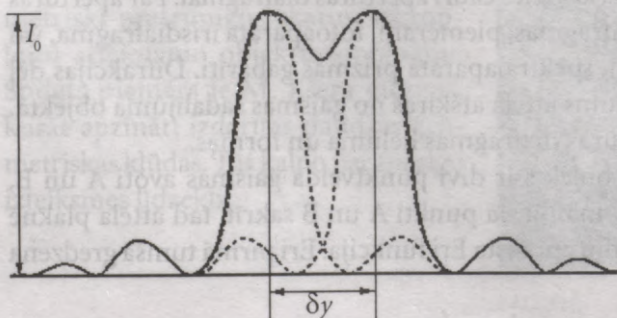
Rodas jautājums, kāds ir mazākais attālums starp punktiem A un B, lai tos varētu novērot šķirti. Sākot ar maziem attālumiem A'B', novēro plankuma deformāciju. Tas kļūst tuvināti ovāls. Pēc tam, ja A'B' kļūst lielāks par Eri apļa rādiusu, plankumi atdalās. Nevar precīzi pateikt, kādā attālumā AB varēs abus punktus izšķirt.

Jautājumu 1879. gadā veiksmīgi atrisināja angļu fiziķis Dž. Relejs. Saskaņā ar Releja formulējumu divus tuvus punktuveida gaismas avotus var novērot šķirti, ja attālums starp šo punktu difrakcijas ainu centriem attēlos nav mazāks par pirmā tumšā gredzena rādiusu. Robežgadījumā punkta B attēla centrālā difrakcijas maksimuma viduspunktu B' novēro virzienā, kas sakrīt ar punkta A attēla difrakcijas ainas pirmo minimumu.

Vienādi intensīviem punktuveida gaismas avotiem difrakcijas ainas kontūras krustojas punktā, kur šīs funkcijas vērtība ir 0,37 no maksimālās:

$$I = 0,37 I_0.$$

Summārās intensitātes liknē veidojas 26% kritums, salīdzinot ar intensitātes



maksimālo vērtību. Gan acs, gan arī fotoemulsija un fotoelektriskie gaismas uztvērēji var atšķirt ievērojami mazākas intensitātes izmaiņas. Daži autori iesaka izšķiršanas kritērija pamatā ņemt 5% lielu intensitātes izmaiņu summārās kontūras centrā, citi par izšķiršanas robežu ieteic

pieņemt attālumu starp Eri funkciju centriem, kad intensitātes ainas minimums izzūd. Taču parasti izmanto Releja kritēriju.

Turpmāk aplūkosim dažus optiskos instrumentus. Mančēstras universitātes profesors H. Lipsons uz jautājumu, kāpēc svarīgi rakstīt par optiskiem instrumentiem, sacīja: "Atbilde ir, ka optiskie instrumenti ne tikai ļauj iegūt informāciju par gaismu, bet gan arī dod ieguldījumu gandrīz visu citu fizikas nozaru attīstībā. Viens no cēloņiem ir tas, ka beigu beigās gandrīz visas ziņas par apkārtējo pasauli, kas nonāk mūsu smadzenēs, iegūtas ar redzes starpniecību. Turklāt optisko instrumentu un metožu izmantošana noveda pie tādu priekšstatu izveidošanas, kādi nerastos, ja nebūtu optikas."

Lupa. Daudzi optiskie aparāti ir paredzēti vizuālai novērošanai, tādēļ to parametri jāsaskaņo ar acs īpašībām. Pirmie optiskie instrumenti bija lēcas un brillēs. Pateicoties brillēm, cilvēki ar sliktu redzi varēja to uzlabot un baudīt pilnvērtīgu dzīvi. Senākais optiskais instruments, kas paplašināja acs iespējas, bija palielināmais stikliņš jeb lupa. Tā atļāva novērot to, kas nebija pieejams neapbruņotai acij. Taču ir konstatēts, ka daudz ļaužu neprot lupu pareizi izmantot. Viņi to tur lielā attālumā no acs un novērojamā objekta, tādējādi stipri samazinot redzes lauku. Daudz labāk lupu turēt tuvu acij, tad pakāpeniski pietuvināt objektu, kamēr kļūst redzams skaidrs palielināts attēls.

Lupa ir vienkāršākais vizuālais optiskais instruments, kurš paredzēts, lai palielinātu acs izšķirtspēju. Lupa visbiežāk ir plāna pozitīva lēca. Pirmās lūpas bija tīra medus vai ūdens pilieniņi uz mazas apaļas diafragmas. Arī pirmie A. Lēvenhūka mikroskopi faktiski bija lūpas ar mazu fokusa attālumu. Lūpas tika plaši izmantotas pat pēc mikroskopa izgudrošanas. 17. gadsimta sākumā daži zinātnieki uzskatīja, ka lēca gan dod mazāku palielinājumu, taču mazāk izkropļo attēlu. Jāpiebilst, ka vienu no fizikas svarīgākajiem atklājumiem – Brauna kustību – veica ar lupu. Tas notika 200 gadus pēc mikroskopa izgudrošanas.

1827. gadā botāniķis R. Brauns (1773 – 1858) novēroja ziedputekšņu haotisku kustību ūdenī. Putekšņu izmēri bija ap $5 \cdot 10^{-4}$ cm. Brauns savos pētījumos izmantoja lēcu, kuras fokusa attālums bija 0,8 mm. Sākumā Brauns domāja, ka novērotā kustība ir kādas dzīvības formas izpausme. Taču līdzīgu parādību novēroja arī eksperimentos ar neorganiskām daļiņām. Pareizi Brauna kustību 1876. gadā izskaidroja Viljams Ramzejs.

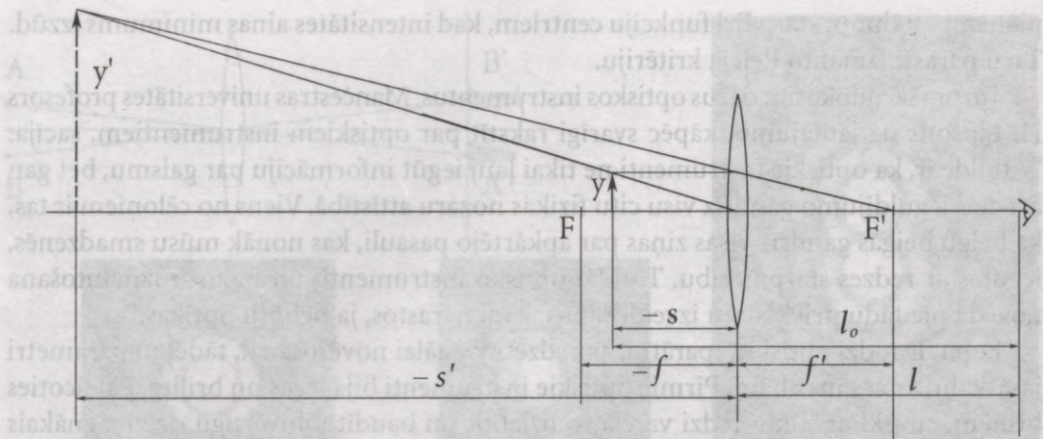
Jāpiebilst, ka, nezinot par iepriekšminēto autoru darbiem, Einšteins 1905. gadā, balstoties uz siltuma kinētisko teoriju, paredzēja šādas kustības novērošanas iespējas.

Izmantojot lupu, objektu novieto nedaudz tuvāk par lūpas fokusa attālumu f . Tādā gadījumā iegūst šķietamu, tiešu un palielinātu attēlu, kuru acs aplūko bezgalībā vai labākās redzes attālumā $l_0 = 25$ cm. Lielumi, kas atlikti no lūpas pa kreisi, ir negatīvi, bet lielumi, kas atlikti pa labi, ir pozitīvi.

Ja priekšmets atrodas attālumā $s < 0$ no lūpas, tā attēls veidojas attālumā $s' < 0$. Attālumam no lūpas līdz acij $l > 0$ iegūst lūpas palielinājuma formulu:

$$N = l_0(f' - s')/f'(l - s').$$

Ja priekšmetu aplūko ar lupu, tad N izsaka uz acs tiklenes iegūtā priekšmeta attēla lineāro izmēru attiecību pret tā paša priekšmeta attēla izmēriem gadījumā, ja priekšmetu aplūko ar neapbruņotu aci labākās redzes attālumā l_0 . N ir atkarīgs no lūpas fokusa attāluma f , labākās redzes attāluma l_0 un aplūkošanas paņēmienu, t. i., no s , s' un l .

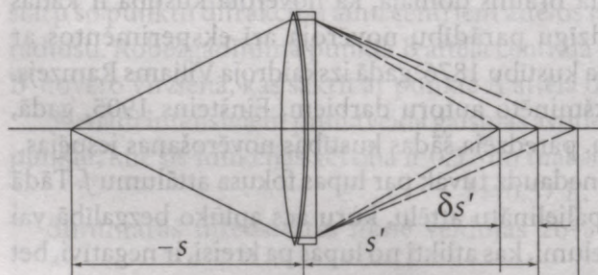


Lupas darbības skaidrojums

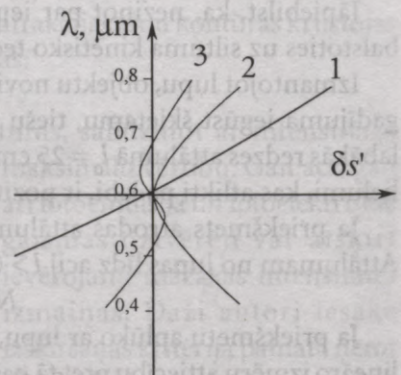
Ja priekšmets atrodas lupas priekšējā fokālajā plaknē un acs muskulis ir atbrīvots, tad $s' = -\infty$ un $N_0 = l_0/f' = 1/4 \cdot F$, kur N_0 – lupas okulārais palielinājums, F – lupas optiskais stiprums dioptrijās. Ja attēlu aplūko labākās redzes attālumā $l - s' = l_0$, tad $N = (f' - s')/f'$.

Ievērojot, ka $s' = l - l_0$, iegūst $N = l_0/f' + 1 - 1/f' \cong N_0 + 1$, ja lupu novieto tuvu acij, kur $l \cong 0$. Faktiski attālums l nav vienlīdzīgs nullei, un abas izteiksmes dod praktiski vienādu lupas palielinājuma vērtību. Atšķirība starp izteiksmēm kļūst manāma vājām lupām.

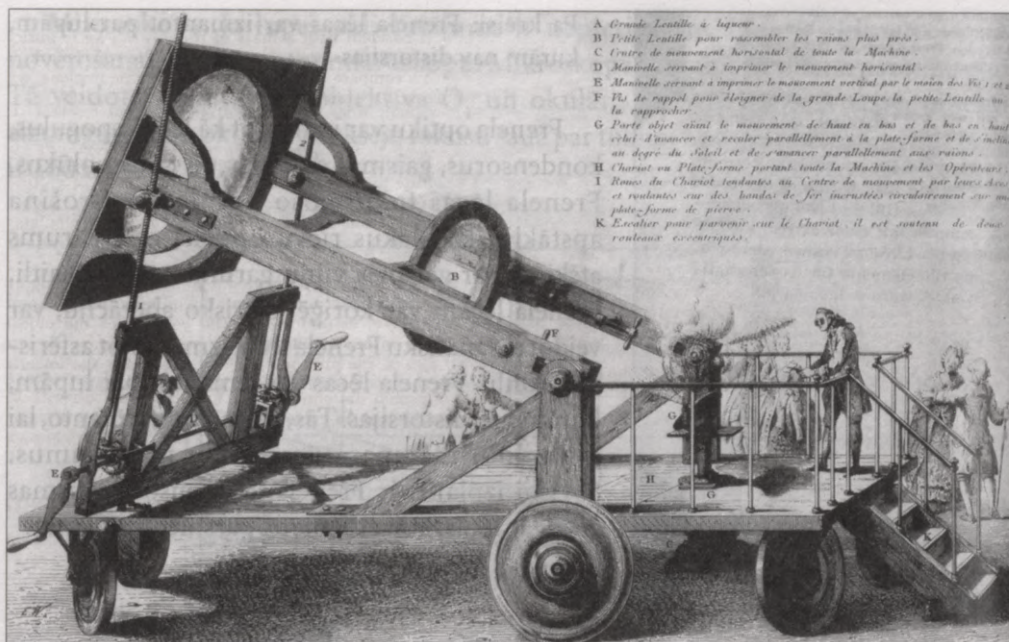
Var izveidot lupas ar lielu okulāro palielinājumu, t. i., mazu fokusa attālumu, taču šādas lupas ir neērtas ekspluatācijā, tādēļ lupu palielinājumi nepārsniedz 40. Ja lupa neizkropļo attēlu, tad acs izšķirtspēja palielinās N reizes. Spēcīgas lupas tiek veidotas no vairākām lēcām, lai novērstu hromatisko aberāciju un daļēji arī sfērisko aberāciju.



Ahromatiskas lēcas shēma. Ahromatisku lupu veido no divām lēcām. Pozitīvā lēca ir izgatavota no kronstikla, negatīvā – no flintstikla. Šādai lupai ir novērsta hromatiskā aberācija un daļēji arī sfēriskā aberācija. Ar pārtraukto līniju atzīmēta sarkano un zilo staru gaita vienkāršā lēcā, $\delta s'$ – hromatiskā aberācija. Vismazākās aberācijas ir apohromatiskai lēcai, kuras izgatavošanai izmanto vairākas komponentes



Hromatiskā aberācija: 1 – parastai lēcai, 2 – ahromatiskai lēcai, 3 – apohromatiskai lēcai

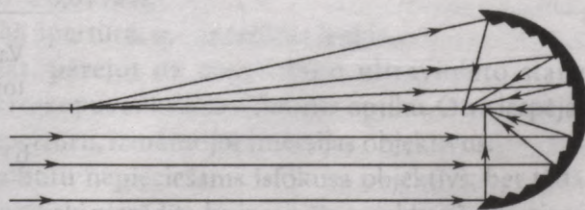
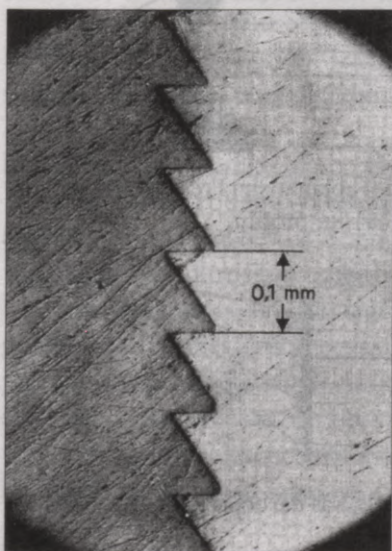


- A Grande Lentille à liqueur
- B Petite Lentille pour rassembler les rayons plus près
- C Centre de mouvement horizontal de toute la Machine
- D Manivelle servant à imprimer le mouvement horizontal
- E Manivelle servant à imprimer le mouvement vertical par le moyen des Vis 1 et 2
- F Vis de rappel pour éloigner de la grande Loupe la petite Lentille ou la rapprocher
- G Porte objet ainsi le mouvement de haut en bas et de bas en haut celui d'avancer et reculer parallèlement à la plate-forme et de s'incliner au degré du Soleil et de s'avancer parallèlement aux rayons
- H Chariot ou Plate-forme portant toute la Machine et les Opérateurs
- I Roues du Chariot tendantes au Centre de mouvement par leurs Axes et roulant sur des bandes de fer incrustées reculoirement sur une plate-forme de pierre
- K Escalier pour parvenir sur le Chariot, il est soutenu de deux contreaux écartés

Lielā aizdedzināšanas lēca, kuru A. Lavuazjē konstruēja Karaliskajai zinātņu akadēmijai

Lēcu, ja ar to iegūst Saules attēlu, var izmantot augstas temperatūras iegūšanai un priekšmetu aizdedzināšanai.

Frenela optika. Mūsdienu aparātu būves raksturīga tendence ir samazināt instrumentu izmērus un atvieglot to svaru. Optiskajiem instrumentiem šādu iespēju paver Frenela optikas elementu izmantošana. Šo elementu vienai vai abām virsmām ir pārtraukta rievota struktūra. Rievas platums atkarībā no izmantošanas apstākļiem var būt robežās no 0,4 līdz 0,05 mm. Tādu struktūru nav ekonomiski izveidot no stikla, tāpēc Frenela optiku izgatavo no plastmasas. Plastmasas optika nodrošina absorbcijas nemainību pa optiskās detaļas diametru, jo tās biezums izmainās nedaudz.



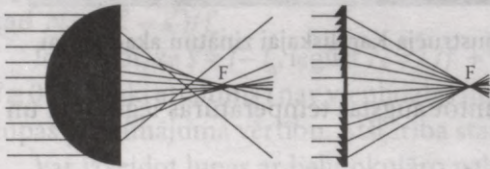
Frenela spogulis

Pa kreisi: rievas platums atkarībā no izmantošanas apstākļiem var būt robežās no 0,4 līdz 0,05 mm

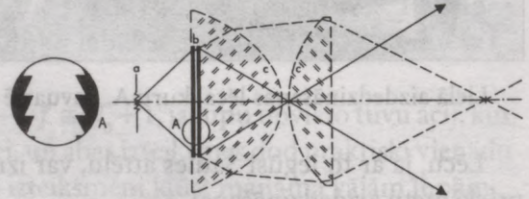


Pa kreisi: Frenela lēcas var izmantot par lupām, kurām nav distorsijas

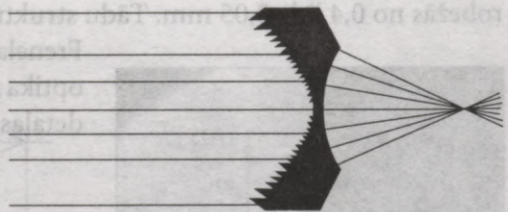
Frenela optiku var izmantot kā lēcas, spoguļus, kondensorus, gaismas dalītājus un citos nolūkos. Frenela lēcas fokusējošo darbību nodrošina apstākļi, ka blakus rievu optiskā ceļa garums atšķiras par gaismas viļņu garuma veselu skaitli. Frenela lēcām var koriģēt sfērisko aberāciju, var veidot aplanātisku Frenela lēcu, izmantojot asfērisku profilu. Frenela lēcas var izmantot par lupām, kurām nav distorsijas. Tās, piemēram, izmanto, lai atvieglotu mēraparatūras skalu nolasījumus. Sevišķi izplatīti ir Frenela kondensori, gaismas spējīgas lēcas, kuru diametri pārsniedz 250 mm.



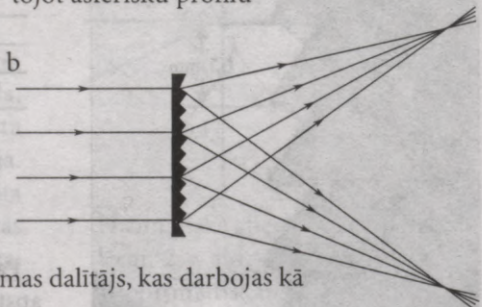
Plakani izliektas lēcas un Frenela lēcas salīdzinājums. Frenela lēcām var koriģēt sfērisko aberāciju



Frenela kondensors salīdzinājumā ar stikla asfērisko kondensoru, kuru parametri ir līdzvērtīgi. Kondensorus ir mērķtiecīgi izveidot kā Frenela lēcas

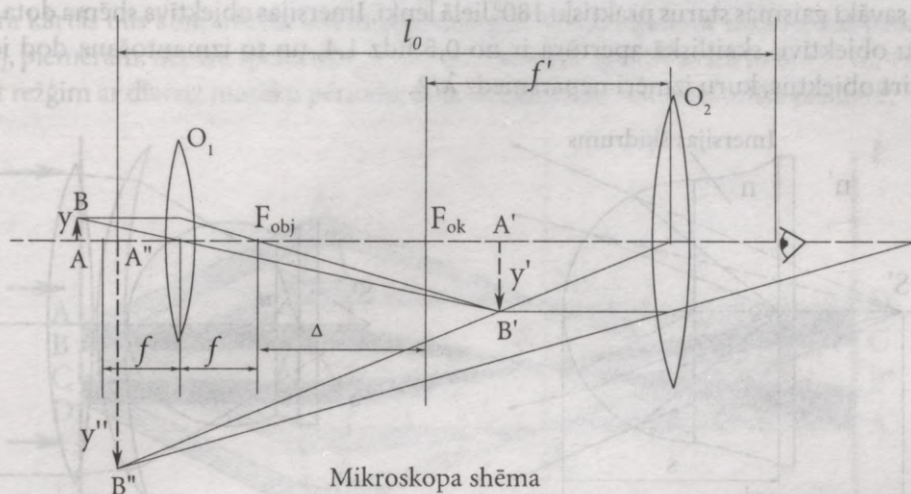


Var veidot aplanātisku Frenela lēcu, izmantojot asfērisku profilu



Sfēriska zonu plāksnīte (a) vai Frenela bifokāls gaismas dalītājs, kas darbojas kā cilindriska lēca (b)

Mikroskops. Ja lupas palielinājums ir nepietiekams sīku priekšmetu vizuālai novērošanai, var izmantot mikroskopu. Mikroskopa principiālā shēma parādīta attēlā. Tā veidota no īsfokusa objektīva O_1 un okulāra O_2 . Attālumu Δ starp objektīva aizmugurējo un okulāra priekšējo fokusu sauc par tubusa optisko garumu, un tas parasti ir 160 mm.



Objektu AB novieto nedaudz tālāk par objektīva fokusa attālumu f . Tad iegūst reālu, apgrieztu un palielinātu objekta attēlu $A'B'$, kura lineārie izmēri $y' = y \cdot \Delta / f$, kur y – objekta izmēri. Okulāru izmanto kā lupu. Leņķis, kādā novēro attēlu y'' , ir $\omega' = y' / f' = y \Delta / f f'$, kur f' – okulāra fokusa aizmugurējais attālums. Attēlu y'' novēro labākās redzes attālumā l_0 , un tā palielinājums ir:

$$N = \omega' / \omega_0 = [y \Delta / f \cdot f'] \cdot l_0 / y = N_{ob} \cdot N_{ok}$$

kur $\omega_0 = y / l_0$ – leņķis, kādā novēro objektu ar neapbruņotu aci, $N_{ob} = \Delta / f$ – objektīva palielinājums, $N_{ok} = l_0 / f'$ – okulāra palielinājums.

Mikroskopa spēju izšķirt sīkas objekta detaļas raksturo ar izšķiramo detaļu minimālajiem lineārajiem izmēriem dy . Šo minimālo attālumu sauc par izšķiršanas robežu jeb sliksni. Robežgadījumā, kad precīzi izpildās Releja kritērijs (sk. 284. lpp.),

$$\delta y = 0,61 \lambda / A,$$

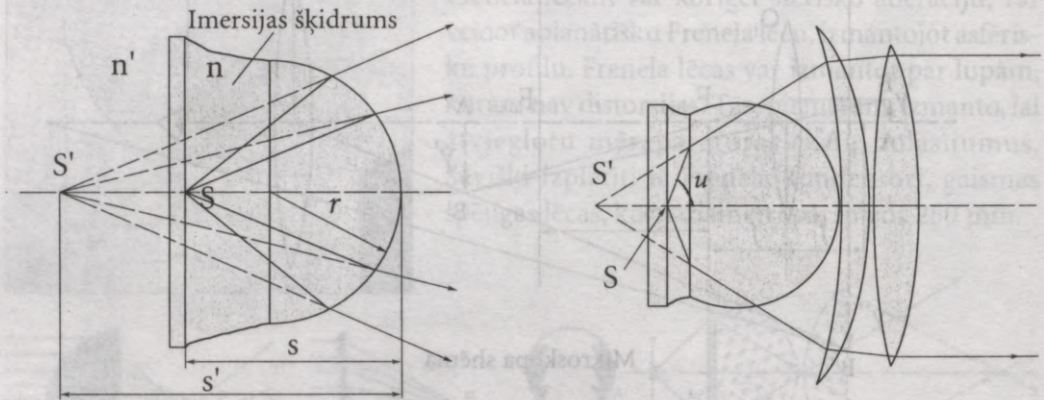
kur $A = n \cdot \sin u$ – mikroskopa skaitliskā apertūra, u – apertūras leņķis.

Izšķiršanas robežu var samazināt, pārejot uz novērošanu ultravioleto staru apgaismojumā. Tad lieto speciālus mikroskopus ar kvarca – fluorīta optiku. Otra iespēja: var palielināt mikroskopa skaitlisko apertūru, izmantojot imersijas objektīvus.

Liela apertūras leņķa u iegūšanai būtu nepieciešams īsfokusa objektīvs, bet tādā gadījumā stipri pieaug aberācijas. Teorētiski pierādīts, ka ir saistīto punktu pāri, kuriem priekšmeta un attēla telpās netiek izjaukta staru kūļu homocentritāte, tiem lūstot uz sfēriskas virsmas starp divām vidēm. Tas nozīmē, ka novērojamais objekts jāievieto vidē, kam laušanas koeficients ir vienāds ar objektīva priekšējās lēcas laušanas koeficientu. Priekšējo lēcu parasti izgatavo puslodes veidā. Telpu starp priekšējo lēcu un segstiklu

aizpilda ar kādu neitrālu šķidrumu, piemēram, ciedru eļļu. Saistītos punktus, kuriem netiek izjaukta staru homocentritāte, sauc par aplanātiskiem punktiem. Aplanātisko punktu stāvokļus var aprēķināt, ja zināms lēcas liekuma rādiuss un vielas laušanas koeficients.

Ja priekšējo lēcu izvēlas nošķeltas lodes formā, tad imersijas objektīva izmantošana ļauj savākt gaismas starus praktiski 180° lielā leņķī. Imersijas objektīva shēma dota attēlā. Šādu objektīvu skaitliskā apertūra ir no 0,5 līdz 1,4, un to izmantošana dod iespēju izšķirt objektus, kuru izmēri nepārsniedz $\lambda/2$.



Priekšējo lēcu izvēlas nošķeltas lodes formā

Imersijas objektīva shēma

Veicot ar mikroskopu vizuālo novērošanu, palielinājums jāizvēlas tāds, lai novērojamo objektu, kuru mikroskops vēl izšķir, attēlā varētu izšķirt arī acs. Tas realizējas, ja objekta attēls mikroskopā nav mazāks par acs izšķiršanas robežu, t. i., $\delta y \cdot N > \Delta l$. Acs izšķiršanas robeža labā apgaismojumā ir $\Delta l = l_0 \cdot \Delta \varphi = 0,1 \text{ mm}$. Strādājot ar mikroskopu, apgaismojums ne vienmēr ir optimāls, tādēļ Δl izvēlas ar rezervi 0,15 – 0,30 mm un $N = \Delta l / \delta y = l_0 \Delta \varphi / \delta y = (0,15 - 0,30) A / 0,61 \lambda$. Izvēloties $\lambda = 5 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$, iegūst $N = (500 - 1000) A$. To sauc par mikroskopa lietderīgo palielinājumu.

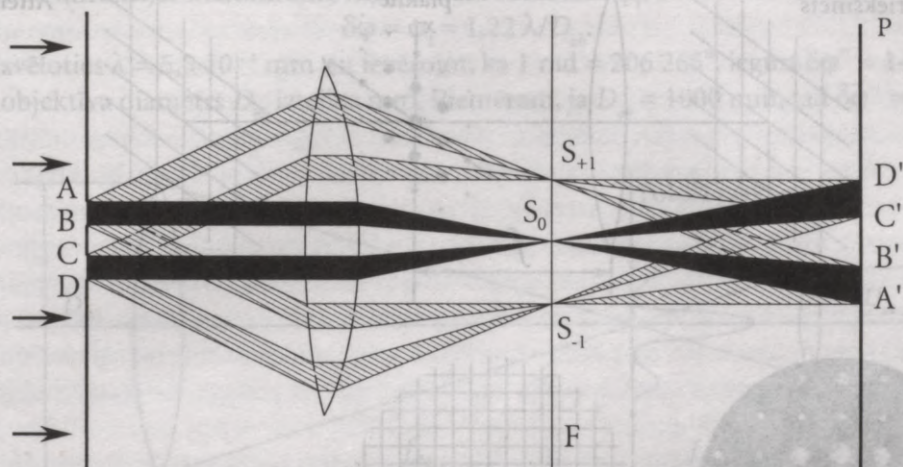
Ja palielinājums ir mazāks par $500A$, nav iespējams novērot visus objekta struktūras elementus, kurus objektīvs vēl izšķir, jo acs izšķirtspēja nav pietiekama. Lietderīgā palielinājuma robežās $(500 - 1000)A$ mikroskopa izšķirtspēja tiek pilnīgi izmantota. Palielinājumiem virs $1000A$ jaunas detaļas attēlā ieraudzīt nevar, jo mikroskopa izšķirtspēja ir pilnīgi izsmelta, turklāt aberāciju dēļ pasliktinās attēla kvalitāte.

Lielu ieguldījumu mikroskopijas attīstībā devis E. Abe. 1872. gadā viņš izstrādāja oriģinālu optiskā attēla teoriju. Nedaudz vēlāk 1878. gadā viņš izveidoja arī pirmo mūsdienīgo mikroskopu. Abes idejas, veicot interesantus eksperimentus, tālāk attīstīja A. Porters 1906. gadā. Abes un Portera eksperimenti uzskatāmi parāda attēla veidošanās mehānismu koherentā sistēmā, pamatojoties uz Furjē analīzes un sintēzes principiem.

Abes teorijas pamatā ir fakts, ka attēlu plaknē P veido gaismas kūļi, kas izgājuši cauri fokālai plaknei F, t. i., kūļi, kas veidojuši difrakcijas ainu. Difrakcijas ainas, t. i., telpas spektra, veidošanos sauc par spektrālo jeb Furjē analīzi un plakni F par spektrālo jeb Furjē

plakni. Gaismas kūļi, kas atbilst dažādas kārtas spektriem, interferē un veido attēlu plaknē P. Šo procesu sauc par Furjē sintēzi. Tādējādi no Furjē komponentēm tiek sintezēts attēls.

Ja daļa spektru nenokļūst aparātā, tad saskaņā ar Abes teoriju novērotais attēls atbildīs objektam, bet attēlā neparādīsies tās detaļas, kuru spektri nebūs reģistrēti. To var ilustrēt eksperimentā. Ja objekts ir difrakcijas režģis ar pietiekami mazu periodu, tad tikai dažās spektra kārtās būs koncentrēta ievērojama enerģija. Viegli izgatavot ekrānu, kas plaknē F aizklāj, piemēram, nepāra spektrus s_1, s_{-1}, s_3 utt. Palikušie spektri ar kārtu 0, +2, -2, +4 utt. atbilst režģim ar divreiz mazāku periodu, tāda struktūra arī veidosies attēla plaknē P.

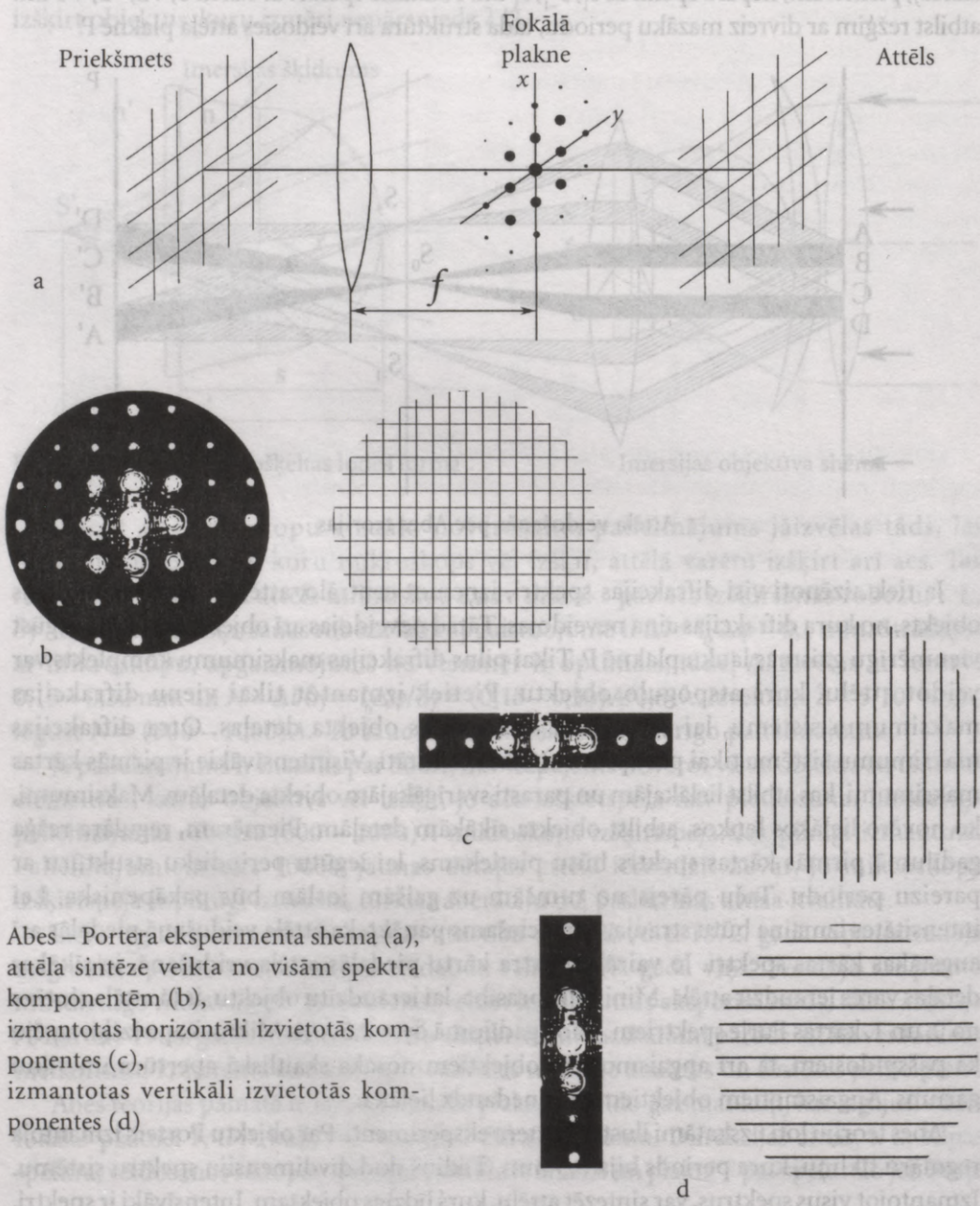


Attēla veidošanās pēc Abes teorijas

Ja tiek aizēnoti visi difrakcijas spektri, izņemot centrālo, attēlam jāatspoguļo tāds objekts, no kura difrakcijas aina neveidojas. Tātad neveidojas arī objekta attēls, un iegūst vienmērīgu gaismas lauku plaknē P. Tikai pilns difrakcijas maksimumu komplekts var veidot attēlu, kurš atspoguļo objektu. Pietiek izmantot tikai vienu difrakcijas maksimumu sistēmu, lai restaurētu attēlā visas objekta detaļas. Otra difrakcijas maksimumu sistēma tikai pastiprina attēla intensitāti. Visintensīvākie ir pirmās kārtas maksimumi, kas atbilst lielākajām un parasti svarīgākajām objekta detaļām. Maksimumi, ko novēro lielākos leņķos, atbilst objekta sīkākām detaļām. Piemēram, regulāra režģa gadījumā pirmās kārtas spektrs būtu pietiekams, lai iegūtu periodisku struktūru ar pareizu periodu. Taču pāreja no tumšām uz gaišām joslām būs pakāpeniska. Lai intensitātes izmaiņa būtu strauja, nepieciešams panākt, ka attēla veidošanā piedalās arī augstākas kārtas spektri. Jo vairāk spektra kārtu piedalās attēla veidošanā, jo sīkākas detaļas varēs ieraudzīt attēlā. Minimālā prasība, lai ieraudzītu objektu, ir tā attēla sintēze no 0. un 1. kārtas Furjē spektriem. Tādā gadījumā $\delta y = 0,5 \lambda / A$. Mikroskopa izšķirtspēju kā pašspīdošiem, tā arī apgaismotiem objektiem nosaka skaitliskā apertūra un viļņu garums. Apgaismotiem objektiem tā ir nedaudz lielāka.

Abes teoriju ļoti uzskatāmi ilustrē Portera eksperimenti. Par objektu Porters izmantoja regulāru tīkliņu, kura periods bija 0,3 mm. Tīkliņš dod divdimensiju spektru sistēmu. Izmantojot visus spektrus, var sintezēt attēlu, kurš līdzīgs objektam. Intensīvāki ir spektri,

kas sakrīt ar x un y asīm. Ievietojot fokālajā plaknē filtras šauru spraugu veidā, var izfiltrēt tikai horizontālo vai vertikālo spektru sistēmu. Atbilstoši caurizgājušai gaismai attēlā būs redzama attiecīgi tikai vertikālā vai horizontālā struktūra. Ja krustotas spraugas novietotu 45° leņķī, atdalot tikai diagonālos spektrus, tad novēros attēla pagriešanos par 45° . Var veikt arī citas operācijas. Šo procedūru sauc par telpas frekvenču filtrēšanu, un to plaši izmanto Furjē optikā informācijas apstrādē.



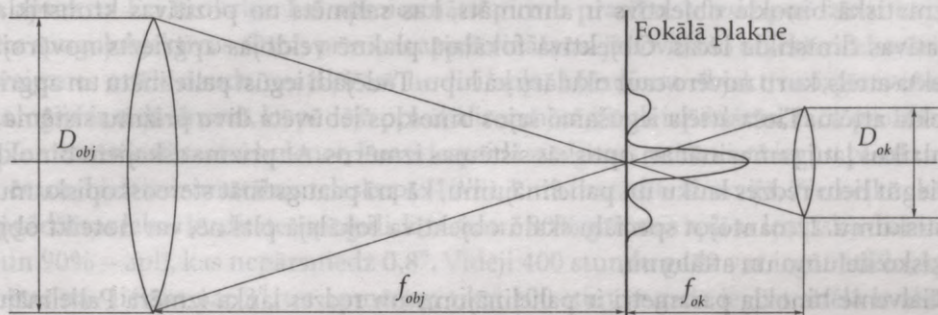
Abes – Portera eksperimenta shēma (a), attēla sintēze veikta no visām spektra komponentēm (b), izmantotas horizontāli izvietotās komponentes (c), izmantotas vertikāli izvietotās komponentes (d)

Tālskatis. Tālu priekšmetu aplūkošani izmanto tālskatus, binokļus un teleskopus, kā arī dažādus specifiskas nozīmes instrumentus (teodolītus, periskopus), kuru optiskā shēma ir līdzīga. Ja aplūkojamais objekts ir ļoti tāls, piemēram, zvaigzne, tad tālskata ieejā ir plakans vilnis. Objektīva fokālajā plaknē veidojas difrakcijas aina, ko apraksta Eri funkcija.

Acis izšķirtspējas raksturošanai vienlīdz bieži izmanto gan leņķisko, gan arī lineāro izšķiršanas robežu. Mikroskopa izšķirtspēju, kā jau redzējām, raksturo lineārā izšķiršanas robeža δy . Tālskata raksturošanai izmanto leņķisko izšķiršanas robežu $\delta\varphi$, kas atbilst centrālā difrakcijas maksimuma leņķiskajam rādiusam φ_1 :

$$\delta\varphi = \varphi_1 = 1,22 \lambda / D_{ob}$$

Izvēloties $\lambda = 5,5 \cdot 10^{-4}$ mm un ievērojot, ka $1 \text{ rad} = 206\,265''$, iegūst $\delta\varphi'' = 140 / D_{ob}'$, kur objektīva diametrs D_{ob} izteikts mm. Piemēram, ja $D_{ob} = 1000$ mm, tad $\delta\varphi'' = 0'',14$.



Tālskata shēma

Ja tālskati izmanto zvaigžņu novērošanai, tad zvaigznes attēla lineārais rādiuss fokālajā plaknē F ir:

$$\rho = \varphi_1 \cdot f_{ob} = 1,22 \lambda f_{ob} / D_{ob}$$

kur f_{ob} – objektīva fokusa garums.

Saskaņā ar šo izteiksmi visu zvaigžņu attēli dotajā teleskopā būs vienāda izmēra. Atšķirīgas būs to intensitātes. Attēla intensitāte teleskopā ievērojami palielinās, ja salīdzina ar intensitāti, ko iegūst, novērojot ar neapbruņotu aci. Gaismas plūsma teleskopā ir:

$$\Delta F = E\pi D_{ob}^2 / 4,$$

bet gaismas plūsma, ko uztver acs, ir:

$$\delta F = E\pi d^2 / 4,$$

kur E – zvaigznes radītais apgaismojums. Attēla intensitātes pieaugums tālskatī ir:

$$\Delta F / \delta F = [D_{ob} / d]^2.$$

Piemēram, ja $D_{ob} = 60$ mm, $d = 6$ mm, tad $\Delta F / \delta F = 100$. Lielajiem astronomiskajiem teleskopiem šī attiecība būs vēl lielāka. Lai pilnīgi izmantotu tālskata vai teleskopa izšķirtspēju, nepieciešams saskaņot instrumenta un acs apertūras. Ja tālskata izejas apertūra ir lielāka par acs zīlīti, daļa gaismas netiks izmantota, jo netiks izmantota visa objektīva atvere, un tāpēc samazināsies gan izšķirtspēja, gan gaismas spēja. Lai izmantotu

visu objektīva virsmu, izejas apertūrai ir jābūt vienānai ar acs zīlītes apertūru. Novērojumiem naktī tā ir 6 – 8 mm, dienā 2 – 3 mm. Tādēļ tālskata palielinājums:

$$N = D_{ob}/D_{ok} = f_{ob}/f_{ok}$$

jāaprēķina atkarībā no tālskata izmantošanas. Optimālā gadījumā $D_{ok} = d$, un tālskata lietderīgais palielinājums:

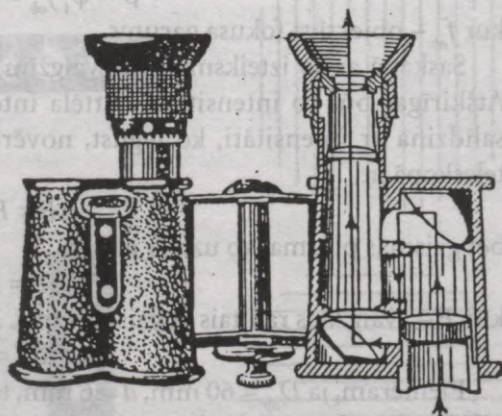
$$N_o = D_{ob}/d.$$

Binoklis. Binoklis (no franču val. *binocle*) ir optisks instruments, kas sastāv no diviem kopā sastiprinātiem tālskatiem un kas paredzēts tālu priekšmetu aplūkošanai vienlaikus ar abām acīm. Izmanto divu sistēmu binokļus: Galileja un prizmatiskos. Galileja binokļa objektīvi ir pozitīvas lēcas, bet okulāri – negatīvas. Galileja binoklim ir liela gaismas spēja, un tas dod tiešu attēlu. Taču mazā redzes lauka dēļ tos izgatavo tikai 2,5 līdz 4 reīzu palielinājuma iegūšanai. Pēc Galileja sistēmas izgatavo teātra binokļus.

Izplatītākie ir prizmatiskie binokļi, kuru konstrukcijas pamatā ir Keplera tālskatis. Prizmatiskā binokļa objektīvs ir ahromāts, kas salīmēts no pozitīvas kronstikla un negatīvas flintstikla lēcas. Objektīva fokālajā plaknē veidojas apgriezts novērojamā objekta attēls, kuru novēro caur okulāru kā lupu. Tādējādi iegūst palielinātu un apgrieztu objekta attēlu. Tieša attēla iegūšanai šajos binokļos iebūvēta divu prizmu sistēma, kas vienlaikus ļauj samazināt arī optiskās sistēmas izmērus. Ar prizmatiskajiem binokļiem var iegūt lielu redzes lauku un palielinājumu, kā arī paaugstināt stereoskopiskumu jeb plastiskumu. Izmantojot speciālu skalu objektīva fokālajā plaknē, var noteikt objekta leņķisko lielumu un attālumu.

Galvenie binokļa parametri ir palielinājums un redzes lauka izmēri. Palielinājumu nosaka objektīva un okulāra fokusu attālumu attiecība. Pēc palielinājuma binokļus iedala maza (2 – 4 x), vidēja (5 – 8 x) un liela (10 – 22 x) palielinājuma binokļos. Objektīva ietvars ierobežo gaismas plūsmu, tā ir ieejas apertūra. Ieejas apertūras diametrs un palielinājums raksturo binokļa tipu. Izplatītākajam binoklim (6x30) ir seškārtīgs palielinājums un 30 mm liels objektīva diametrs. Šāda binokļa izejas apertūra ir $30/6 = 5$ mm, kas ir aptuveni vienāda ar acs zīlītes diametru.

Redzes lauka lielums ir apgriezti proporcionāls palielinājumam, un to parasti raksturo ar redzes leņķi. Redzes leņķi nosaka okulāra īpašības. Okulārs ir patstāvīga optiska sistēma, kas dod labas kvalitātes attēlu tikai noteiktā ierobežotā redzes laukā. Binokļos parasti izmanto Kelnera okulāru, kurš sastāv no parastas pozitīvas kolektīva lēcas un līmētas ahromatiskas acs lēcas. Kelnera okulāra redzes leņķis ir 50° . Seškārtīga palielinājuma binoklim redzes leņķis nevar būt lielāks par $50^\circ/6 = 8^\circ 20'$.



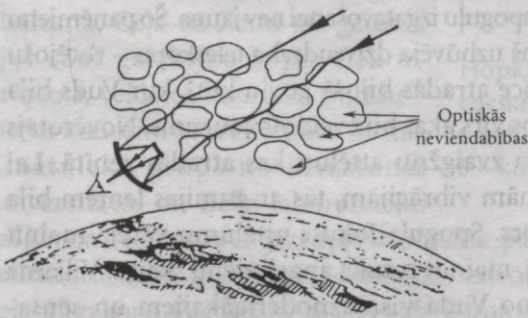
Prizmatiskais binoklis

Ar plastiskumu saprot stereoskopiskā efekta pastiprināšanos, t. i., attāluma izjūtas pastiprināšanos, novērojot binoklī, salīdzinot ar novērošanu bez binokļa. Stereoskopiskās uztveres robeža acīm $\eta = 10'$. Tai atbilst stereoskopiskās redzes attālums $R = b/\eta = 1,3$ km. Izmantojot binokli, stereoskopiskās redzes attālums palielināsies:

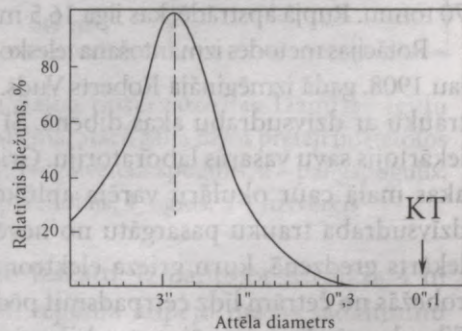
$$R_b = (b/\eta) \cdot B/\gamma.$$

B/γ ir binokļa plastiskums, kur B – attālums starp binokļa objektīvu centriem, γ – palielinājums. Tad seškārtīga palielinājuma binokļa plastiskums, ja $B = 2b$, ir 12. Šāda binokļa stereoskopiskās redzes attālums $R_b = 1,3 \times 12 = 15,6$ km. Astoņkārtīga palielinājuma binokļa gadījumā tas būtu jau 16 reiz lielāks par acu stereoskopiskās redzes attālumu un sasniegtu 20,8 km.

Astronomiskie teleskopi. Astronomiskajiem teleskopiem izvirza divas galvenās prasības: tiem jāsavāc pēc iespējas vairāk gaismas un šī gaisma jākoncentrē pētāmā objekta attēlā. Zvaigžņu gadījumā šis attēls ir difrakcijas ainas centrālais maksimums, kuru apraksta Eri funkcija. Lai apmierinātu pirmo prasību, teleskopos izmanto liela izmēra spoguļobjektīvus. Otrās prasības apmierināšanai jānovērš šo objektīvu aberācijas, lai zvaigznes attēls daudz neatšķirtos no Eri apla. Mūsdienu objektīvu izgatavošanas tehnoloģija ir tādā līmenī, ka pēdējā prasība ir samērā viegli izpildāma, taču problēmas rada Zemes atmosfēras turbulence, kuras iespaidā zvaigznes attēla vietā iegūst plankumu. Piemēram, Lielais azimutālais teleskops (LAT), kurš uzstādīts Krievijā, Ziemeļkaukāzā, un apgādāts ar labas kvalitātes spoguļi, koncentrē 80% gaismas apli ar leņķisko diametru $0,6''$ un 90% – apli, kas nepārsniedz $0,8''$. Vidēji 400 stundu gadā var iegūt attēlu, kura diametrs nav lielāks par $3''$, un apmēram tikai 100 stundu gadā iegūst attēla kvalitāti, kas nepārsniedz $1,5''$. No šejienes izriet, ka minētā rajona astroklimats nav piemērots lielu teleskopu izmantošanai. Tā 1984. gadā Haleja komētas pēdējās tuvošanās reizē to vienlaikus ieraudzīja ar LAT un teleskopu Vidusāzijā, kura objektīva diametrs ir 1 m. Divus gadus agrāk komētu pamanīja ar teleskopiem Čīlē un Kalifornijā, kur ir daudz labāks astroklimats.



Astronomisko attēlu kropļojumi rodas, gaismai ejot cauri Zemes atmosfēras rajoniem, kam ir dažāda temperatūra. Katram šādam rajonam ir atšķirīgs gaismas laušanas koeficients



Palomāras 200 collu teleskopa atmosfēras turbulentās izkliedes attēla izmēri. Likne parāda zvaigznes attēla leņķiskā izmēra novērošanas varbūtības sadalījumu. Šāds sadalījums ir raksturīgs vairākumam vietu ar labu astroklimatu

Lielo teleskopu laikmets iesākās 1949. gadā, kad Kalifornijas štatā (ASV) Palomāras kalna observatorijā atklāja lielāko tā laika teleskopu (Heila teleskopu), kura objektīva diametrs ir 5 m. Šā teleskopa celtniecība ilga 11 gadus ar pārtraukumu Otrā pasaules kara laikā.

Nākamais pēc lieluma ir LAT, kurš tika būvēts laika periodā no 1960. gada līdz 1976. gadam. Šā instrumenta spoguļa diametrs ir 6 m.

Spoguļu diametra palielināšana saistīta ar virkni neērtību. Nozīmīgākā no tām ir spoguļa formas maiņa smagumspēka iespaidā. Lai samazinātu Heila teleskopa spoguļa svaru, atlejamās stikla sagataves iekšienē izvietoja “ķieģeļus”, kurus pēc sagataves atdzesēšanas izņēma. Tādējādi Heila teleskopa spoguļa svars ir 15 tonnu, kas ir gandrīz trīsreiz mazāk nekā LAT spogulim. LAT spoguļa svars ir 42 tonnas, sagataves biezums – 65 cm, spoguļa fokusa attālums – 24 m.

Vieglāku spoguļu izgatavošanas tehnoloģiju turpmākajos gados izstrādāja Arizonas universitātes optikas laboratorijā P. Eindžela vadībā. Šī spoguļu izgatavošanas tehnoloģija ir perspektīvākais novirziens lielo un ļoti lielo teleskopu nodrošināšanai ar spoguļiem. Šajā metodē “ķieģeļi” aizņem daudz lielāku telpu nekā Heila teleskopa objektīvā, un sagataves atliešana notiek rotējošā krāsnī.

“Ķieģeļi”, ko ievieto sagatavē, ir sešskaldņu prizmu formā, tāpēc spogulis atgādina bišu šūnas un šos spoguļus dēvē par šūnu spoguļiem. Regulējot kausējamās krāsns rotācijas ātrumu, panāca, ka izkausētā stikla forma bija tuva tai, kāda nepieciešama gatavam spogulim. Šķidrums virsma rotējošā traukā pieņem rotācijas paraboloida formu. Tā kā sagataves masa ir mazāka, samazinās tās dzesēšanas laiks. Sagatave, kuras diametrs ir 3,5 m, šādā krāsnī atdziest līdz apkārtnes temperatūrai divās nedēļās. Heila teleskopa spoguļi dzesēja gadu, bet LAT spoguļi – divus gadus. Atdzesēšanas ātrums bija 0,05 °C stundā. Sagatave, kuru centās atdzesēt 9 mēnešos, neizturēja iekšējos spriegumus un saplīsa. Labu spoguļi LAT izdevās iegūt no trešā lējuma.

Spoguļu izgatavošana rotējošās krāsnīs atvieglo to turpmāko apstrādi, jo slipēšanas procesā no sagataves jānoņem daudz mazāk materiāla. LAT spoguļa sagataves sākotnējā masa bija 70 tonnu. Rupjā apstrādē, kas ilga 16,5 mēnešus, tā masa samazinājās par 28 tonnām.

Rotācijas metodes izmantošana teleskopu spoguļu izgatavošanai nav jauna. Šo paņēmienu jau 1908. gadā izmēģināja Roberts Vuds. Viņš uzbūvēja dzīvsudraba teleskopu – rotējošu trauku ar dzīvsudrabu akas dibenā. Šī ierīce atradās bijušā govju kūtī, kur Vuds bija iekārtojis savu vasaras laboratoriju. Griestos virs akas bija veidots caurums. Novērotājs akas malā caur okulāru varēja aplūkot to zvaigžņu attēlus, kas atradās zenītā. Lai dzīvsudraba trauku pasargātu no nevēlamām vibrācijām, tas ar gumijas lentēm bija iekārts gredzenā, kuru grieza elektromotors. Spoguļa fokusa attālumu varēja mainīt robežās no četrām līdz četrpadsmit pēdām, mainot trauka apgriezību skaitu. Viljama Sibruka vārdiem runājot, tas bija viens no Vuda vismaznoderīgākajiem un sensacionālākajiem veikumiem.

Astronoms V. H. Pikerings, kurš apmeklēja Vudu un kura klātbūtnē Vudam izdevās atšķirt Liras zvaigznāja ceturto zvaigzni Liras ε, ierakstīja viesu grāmatā šādus vārdus:

“Liru epsilon redzēju jauki,

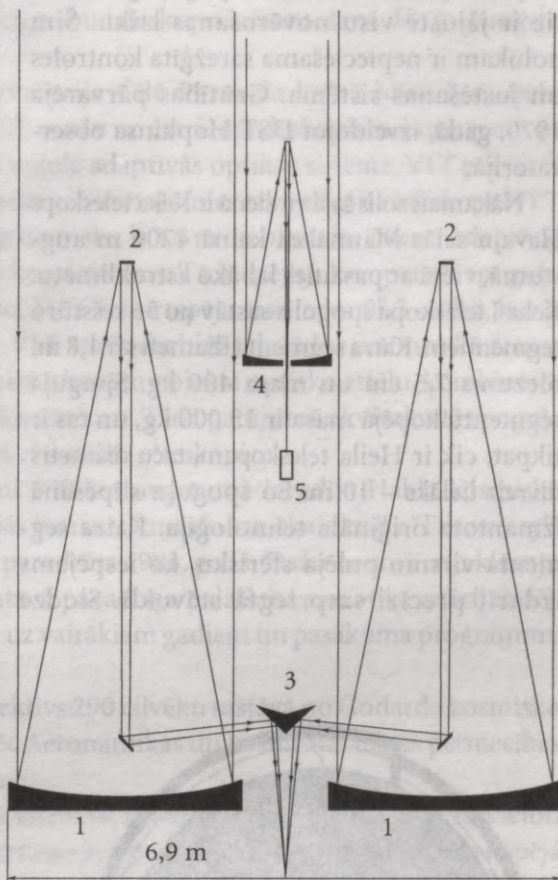
Spogulis īstenību meklē,

Tātad tas nav gluži veltīgi.”

Viņa brālis, plašāk pazīstamais Edvards Pikerings, ar secinājumiem nesteidzās: “Es domāju, labāk nogaidīt...” Pats Vuds, atradis uz kūts sienas vecu uzrakstu: “Maijs. 1860. Pirmais teļš”, papildināja: “Jūnijs. 1908. Dzīvsudraba teleskops.”

1979. gadā Arizonas štatā pabeidza Hopkinsa observatorijas Daudzspoguļu teleskopu (DST). Tas sastāv no sešiem uz kopēja rāmja montētiem spoguļiem. Katra spoguļa diametrs ir 1,6 m. Sistēmas gaismas savākšanas efektivitāte atbilst 4,5 m spogulim. Pirmo instrumenta pārbaužu laikā 1980. gada maijā R. Dž. Veimans ar līdzstrādniekiem atklāja trīskāršo kvazāru Q1115+080, kura pastāvēšanu skaidro ar gravitācijas lēcas darbību.

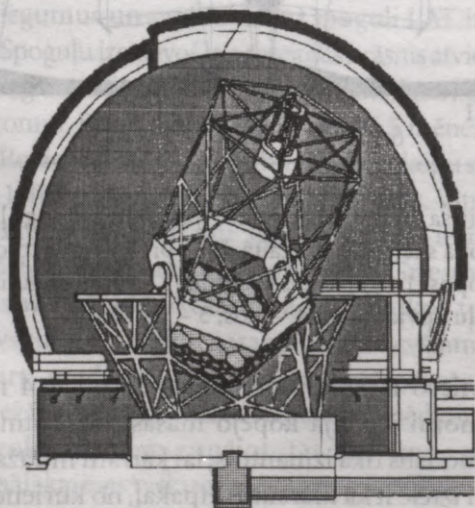
Gaismas staru noliekšanas masīvu objektu tuvumā kā vispārīgās relativitātes teorijas sekas 1915. gadā pamatoja Einšteins. Pateicoties milzīgajai masai, galaktiku kopas ir sevišķi labas gravitācijas lēcas. Habla teleskopa uzņēmums, kurā redzama tāla galaktika CL 0024+1654, parāda gravitācijas lauka iedarbību. Galaktiku kopa atrodas apmēram 5 miljardu gaismas gadu attālumā. Aiz tās atrodas zila vientuļa galaktika apmēram 10 miljardu gaismas gadu attālumā. Ceļā uz Zemi tās gaisma, ejot caur galaktiku kopu, tiek izkropļota, veidojot kosmisko mirāžu – attēlu koncentrisku zilu loku formā. Zinātnieku grupa no Prinstonas universitātes un Bella laboratorijas mēģināja rekonstruēt izkropļotā objekta patieso izskatu. Izmantojot Kitpīkas 4 m reflektoru, kam ir lielāks redzeslauks, astronomi izpētīja kopējo masas sadalījumu galaktiku kopā. Pēc tam šis masas sadalījuma modelis tika izmantots, lai katram mirāžas punktam atrastu izcelsmes avotu: gaismas stari iztēlē it kā tika sūtīti atpakaļ, no kurienes tie nākuši. Zinātnieki ieguva barankveida objektu, kurš atgādina galaktikas zvaigžņu veidošanās apgabalu. Tā izmēri līdzinās 15 – 20 tūkstošiem gaismas gadu. Jāpiebilst, ka gravitācijas lēcas, lai arī izkropļo caur tām vai arī garām ejošo gaismu, taču to koncentrē, ļaujot saskatīt tālas galaktikas.



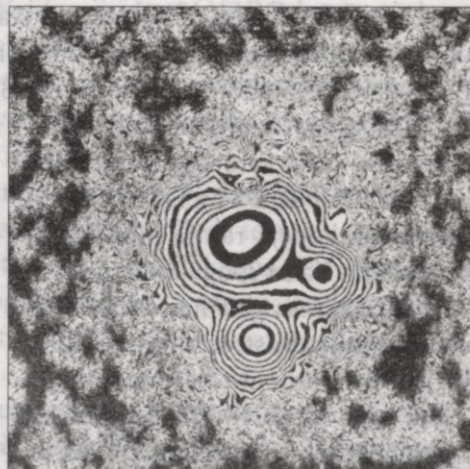
Hopkinsa kalna observatorijas Daudzspoguļu teleskopa shēma. Staru gaita divos pretēji novietotos teleskopos: 1 – galvenais spogulis, 2 – paligspogulis, 3 – kūļu apvienotājs, 4 – gids, 5 – uztvērējs

Salikto spoguļu priekšrocība, salīdzinot tos ar masīvajiem viengabala spoguļiem, ir to mazākais svars. Taču to izveide un ekspluatācija nav vienkārša. Salikto spoguļu gadījumā tie ir jājustē visu novērošanas laiku. Šim nolūkam ir nepieciešama sarežģīta kontroles un justēšanas sistēma. Grūtības pārvarēja 1979. gadā, izveidojot DST Hopkinsa observatorijā.

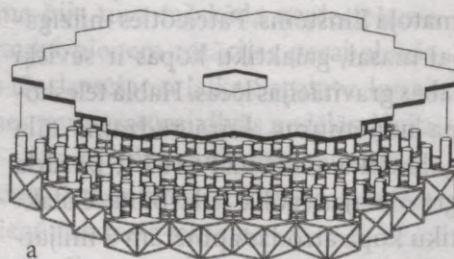
Nākamais solis šajā virzienā ir Keka teleskops Havaju salās Maunakea kalnā 4200 m augstumā, vietā ar pasaules labāko astroklīmatu. Keka I teleskopa spoguļis sastāv no 36 sešstūru segmentiem. Katra segmenta diametrs ir 1,8 m, biezums 7,5 cm un masa 400 kg. Spoguļa segmentu kopējā masa ir 15 000 kg, un tas ir tikpat, cik ir Heila teleskopam, taču diametrs divreiz lielāks – 10 m. Šo spoguļu slīpēšanā izmantota oriģināla tehnoloģija. Katra segmenta virsmu pulēja sfērisku, ko iespējams izdarīt precīzi saspriegtā stāvoklī. Slodze



Keka teleskopa shēma. Galvenais spoguļis sastāv no sešstūrīgiem segmentiem



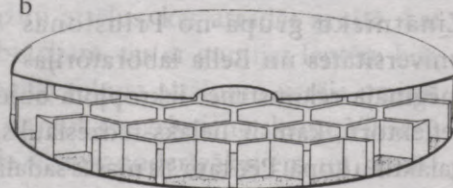
Trīskāršā kvazāra Q1115+080 attēls. Leņķiskā izšķirtspēja 0,6". Attālums starp komponentēm apmēram 2"



a



b



c

Lielo teleskopu spoguļu tipi: a – saliktais spoguļis, atsevišķi segmenti (1 – 2 m) pakļauti kontroles sistēmai, b – plāns elastīgs monolīts spoguļis, spoguļa forma tiek kontrolēta, c – šūnu tipa viegls spoguļis

slīpēšanas laikā ir aprēķināta tā, lai pēc slodzes noņemšanas segmenti pieņemtu nepieciešamo formu. Pirmie eksperimenti, kas tika izdarīti ar deviņiem segmentiem, rādīja, ka aberācijas ir pieļaujamas robežās. Zvaigznes attēla izmēri bija 0,6". Keka teleskops izmaksāja apmēram 90 miljonus dolāru. Nesen darbu sācis jauns milzu teleskops Keks II, kas ir dvīnis teleskopam Keks I. Vienlaicīga abu teleskopu izmantošana dos ļoti augstu izšķirtspēju.

Eiropas Apvienotā dienvidu observatorija Čilē Paranalā kalnā būvē ļoti lielu teleskopu VLT (*Very Large Telescope*). VLT sastāv no četriem teleskopiem, kuru spoguļu diametrs 8,2 m. Spoguļi ir plāni, un tos regulē adaptīvās optikas sistēma. VLT projekta atstrādāšanai Čilē Lasiljas observatorijā tika uzbūvēts Jaunas tehnoloģijas teleskops NTT (*New Technology Telescope*), kura spoguļa diametrs ir 3,6 m un biezums 24 cm. Adaptīvās optikas sistēma kompensē viļņu frontes kropļojumus. Tā ir spējīga kompensēt spoguļu deformācijas un nodrošināt to justēšanu. NTT izšķirtspēja sasniedza 0",3 – 0",4, kas ir ļoti labs rādītājs teleskopiem uz Zemes. VLT varēs darbināt dažādos režīmos kā četrus atsevišķus instrumentus vai arī veidot vienu kopīgu objekta optisko attēlu, kombinējot to no četriem attēliem ar speciālu optisko sistēmu. Tādā gadījumā ekvivalentā spoguļa diametrs būtu 16 m. Darbu uzsākuši arī citi milzu teleskopi.

1990. gada 22. aprīlī orbitā ap Zemi 500 km augstumā ievadīja Habla kosmisko teleskopu. Orbitā to izveda daudzkārtējās izmantošanas kosmiskais kuģis "Discovery". Pirmais oficiālais ievadīšanas laiks bija paredzēts 1983. gadā. Dažu nenovērstu kļūmju dēļ to atlika uz 1986. gadu. Taču jau gatavā pavadoņa palaišana nenotika avārijas dēļ. "Space Shuttle" lidojumi tika pārtraukti uz vairākiem gadiem un pasākuma programmu nācās koriģēt.

Habla teleskopu vada speciālistu kolektīvs 290 cilvēku sastāvā no Godarda kosmisko lidojumu centra. Teleskops izgatavots pēc Aeronautikas un kosmiskās telpas pētniecības nacionālās pārvaldes (NASA) pasūtījuma.

Lai Habla teleskopu vērstu vajadzīgā virzienā, izmantoti trīs vēzriteņi, kas novietoti trīs perpendikulārās plaknēs. Energiju vēzriteņu griešanai ražo saules baterijas, kuru kopējā jauda ir 4700 W. Teleskopa stabilizēšana izvēlētā objekta novērošanai tiek veikta ar augstu precizitāti. Šim nolūkam izmanto divu zvaigžņu attēlus redzes lauka perifērijā. Pēc šo zvaigžņu koordinātām, kuras tiek paziņotas no Zemes, divi uztvērēji sāk zvaigžņu meklēšanu. Ja šīs zvaigznes ir atrastas un to savstarpējais izvietojums un spožums atbilst kataloga datiem, tad meklēšana ir vainagojusies ar panākumiem, un teleskops ir vērsts vajadzīgajā virzienā. Tādu "atbalsta" zvaigžņu katalogs satur 18 819 291 zvaigzni, kas spožākas par 14,5. zvaigžņu lielumu. Šis zvaigžņu katalogs ir ierakstīts divos optiskajos diskos.

Habla teleskops tika uzskatīts par labāko 20. gadsimta instrumentu. Tā būve ilga gandrīz 20 gadus un izmaksāja aptuveni 1,5 miljardus dolāru. Salīdzinājumam var minēt, ka visa "Apollo" programma ar lidojumiem uz Mēnesi izmaksāja apmēram 20 miljardu dolāru. Habla teleskopa spoguļa diametrs ir 2,4 m, un tā pulējums ir visaugstākās kvalitātes. Prognozēja, ka iegūto zvaigžņu attēlu diametri būs ar kārtu 0,1", kas ir gandrīz par kārtu labāk, nekā tas iespējams ar teleskopiem uz Zemes. Pēc prognozēm, Habla teleskopam vajadzēja konstatēt objektus līdz 28. zvaigžņu lielumam. Diemžēl drīz pēc

palaišanas noskaidrojās, ka spoguļa forma nav ideāla un sfēriskās aberācijas dēļ zvaigžņu attēli ir paplašināti. Tas samazina instrumenta izšķirtspēju un ierobežo vājo objektu atklāšanu. Neraugoties uz šo trūkumu, ar Habla teleskopu ir iegūta jauna vērtīga informācija, tai skaitā – spektra UV daļā, kuru absorbē Zemes atmosfēra. Habla kosmiskā teleskopa darbība plānota uz 20 gadiem ar iespēju nogādāt teleskopu uz Zemes remontam. Tomēr šie plāni tika koriģēti, un 1993. gadā no 2. līdz 13. decembrim "Space Shuttle" lidojuma laikā astronauti veica teleskopa remontu orbitā. Teleskops tika "notverts", un astronauti veica vairākus izgājienu kosmiskajā telpā, uzstādot optisko sistēmu sfēriskās aberācijas novēršanai, nomainot saules baterijas un elektroniskās sistēmas blokus.

1995. gada 18. decembrī sāka realizēt interesantu projektu un uz desmit dienām Habla teleskopu pavērsa Lielo Greizo Ratu zvaigznāja virzienā. Projekta mērķis bija maksimāli tāla ielūkošanās Visumā, cenšoties izziņāt galaktiku veidošanās un evolūcijas noslēpumus, kā arī noskaidrot, kur atrodas Visuma "mala". Izvēlētais rajons ir visai patukšs no spožām zvaigznēm un galaktikām, kā arī brīvs no starpzvaigžņu putekļu ietekmes. Tas ir ļoti būtiski ilgstošai novērošanai. Kopumā četrās spektra joslās ieguva 342 uzņēmumus, kurus vēlāk elektroniski apstrādāja un summēja. Rezultāts bija pārsteidzošs. Attēls bija kā nosēts ar galaktikām, no kurām vājākās bija 30. zvaigžņlieluma. Apgabalā, kura izmēri ir līdzīgi kniepadatas galviņai izstieptas rokas attālumā, atrodas vairāk nekā 1500 galaktiku. Ja citos virzienos galaktiku skaits ir tāds pats, tad vienkāršs aprēķins parāda, ka cilvēcei līdz šim nav izdevies saskatīt ap 50 miljardus galaktiku.

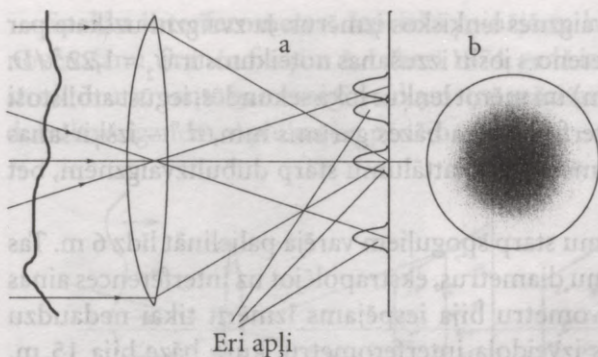
Ir atklātas galaktikas, kas veidojās Visuma agrīnajā attīstības stadijā. Par to liecina šo galaktiku lielais attālums. Attālumu līdz galaktikām izdevās novērtēt, salīdzinot to izskatu redzamajā un tuvajā IS gaismā. No 1104 galaktikām, kuras vājākas par 28. zvaigžņlielumu, izdevās atrast 6 difūzus objektus, kuri redzami tikai spektra IS daļā. Tas nozīmē, ka šo objektu sarkanā nobide ir ļoti liela, tātad tie atrodas tālāk nekā vistālākie līdz šim zināmie kvazāri.

Jāpiebilst, ka, izmantojot modernās reģistrēšanas iekārtas ar kvantu uzkrāšanu, lieli teleskopi uz Zemes arī spēj reģistrēt 28. lieluma zvaigznes.

Zvaigžņu interferometrs. Ideālā gadījumā gaismas vilnis, kas no zvaigznes nonāk teleskopā, ir plakans. Reāli tādi apstākļi nepastāv. Atmosfēras turbulences dēļ viļņu fronte ir izkropļota. Nevienādības var būt robežās no dažiem centimetriem līdz pat dažiem desmitiem centimetru. Turklāt viļņu frontes forma var strauji mainīties laikā. Tādēļ, teleskopā vizuāli novērojot atsevišķu zvaigzni, tās attēls atgādina izplūdušu plankumu, kura struktūra nepārtraukti mainās un kuram nav nekā kopīga ar Eri apli.

Iespējams šāds minētās parādības skaidrojums. Viļņu fronti var "iesaldēt", ja zvaigzni fotografē īsu laika momentu – apmēram 0,01 s. Tik īsā laika sprīdī viļņu fronte praktiski nemainās. Izdarot daudzus uzņēmumus, plāknē P iegūst lielu skaitu gaišu plankumu, kuriem ir gadījuma sadalījums telpā. Šos plankumus sauc par spekiem. Jēdziens "spekls" (*speckle*) aizgūts no angļu valodas un nozīmē plankums. Plankumu izmēriem ir tāda pati kārta kā centrālajam difrakcijas maksimumam. Ilgām ekspozīcijām speku struktūra izzūd, un tās vietā iegūst izplūdušu plankumu, kura izmēri ir ievērojami lielāki.

Šā iemesla dēļ iepriekš minēto izšķirtspēju ($\delta\varphi = 0",14$) neizdodas sasniegt. Mūsdienu teleskopi parasti neizšķir attēlus, kas mazāki par 1 loka sekundi. Tāda

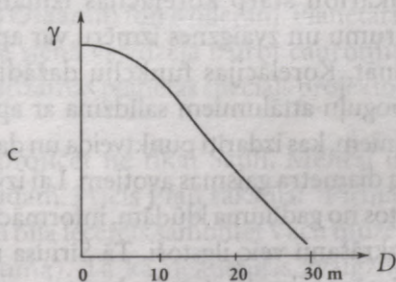
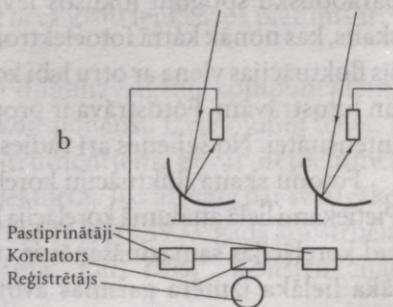
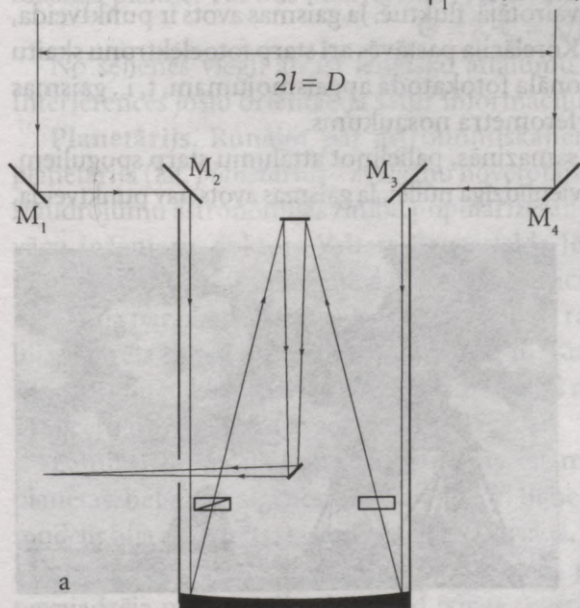


Viļņu fronti var "iesaldēt", ja zvaigzni fotografē īsu laika momentu – 0,01 s (a). Ilgām ekspozīcijām speķu struktūra izzūd un tās vietā iegūst izplūdušu plankumu, kura izmēri ir ievērojami lielāki par Eri apli (b)

izšķirtspēja ir pilnīgi pietiekama Saules, planētu un miglāju attēlu iegūšanai, ja tos fotografē vai novēro tradicionālā veidā. Zvaigžņu attēlus, kas atspoguļo to patiesos izmērus, tādā ceļā iegūt nav iespējams, jo pat tuvāko zvaigžņu leņķiskie izmēri ir ar kārtu $\sim 0",01$.

Ideja par interferometra izmantošanu astronomijā 19. gadsimta vidū radās franču fiziķim A. Fizo. Zvaigžņu leņķiskos izmērus interferometriski pirmie 1920. gadā izmērija A. Maikelsons un F. G. Pīzs. Viņi izmantoja Vilsona kalna observatorijas 2,54 m reflektoru, kur uzstādīja interferometru ar 6 m lielu bāzi. Novērojot divas tuvas zvaigznes, starp kurām leņķiskais attālums ir ψ , teleskopā būs redzamas divas interferences ainas, kas viena pret otru pārvirzītas leņķi ψ . Mainot attālumu $2l = D$ starp spoguļiem M_1 un M_4 , t. i., mainot interferences joslas platumu $\Theta = \lambda/2l$, var panākt, ka vienas interferences ainas maksimumi sakrīt ar otras ainas minimumiem. Tad interferences ainas redzamība būs vissliktākā. Šajā gadījumā:

$$\psi_1 = \Theta/2 = \lambda/2D.$$



Zvaigžņu interferometra shēma (a), intensitātes interferometrs (b), korelācijas funkcija (c)

Līdzīgā veidā var izmērīt vienas zvaigznes leņķiskos izmērus. Ja zvaigzni uzskata par vienmērīgi mirdzošu disku, tad interferences joslu izzušanas noteikums ir $\psi_2 = 1,22 \lambda/D$.

Novērojot vizuāli ($\lambda = 5,5 \cdot 10^{-4}$ mm) un mērot leņķus loka sekundēs, iegūst atbilstoši $d_1'' = 57/D$, $d_2'' = 138/D$, kur D – interferometra bāzes garums mm, d'' – izšķiršanas leņķiskā robeža loka sekundēs. Lielums d_1'' dod attālumu starp dubultzvaigznēm, bet d_2'' – zvaigžņu leņķisko diametru.

Maikelsona interferometrā attālumu starp spoguļiem varēja palielināt līdz 6 m. Tas ļāva izmērīt $0'',02$ un mazākus zvaigžņu diametrus, ekstrapolējot uz interferences ainas varbūtējo izzušanu. Ar 6 m interferometru bija iespējams izmērīt tikai nedaudzu zvaigžņu diametrus. 1936. gadā Pīzs izveidoja interferometru, kura bāze bija 15 m. Optiskajiem ceļiem no spoguļiem līdz novērošanas plaknei jābūt vienādiem ar precizitāti līdz viļņa garumam. Tas izvirza augstas prasības visai konstrukcijai. Lielas bāzes gadījumā stipri traucē arī atmosfēras fluktuācijas. Jāpiebilst, ka Vilsona kalna observatorijā uzstādītais interferometrs ar 15 m lielu bāzi tā arī nedeva ticamus rezultātus. Maikelsona zvaigžņu interferometrs savas iespējas izsmēla jau 20. gadsimta trīsdesmitajos gados.

1955. gadā angļu astronoms Hanberijs Brauns ieteica jauna tipa interferometru, kurā izmanto trokšņa spektra koherenci. Tas pazīstams ar nosaukumu "intensitātes interferometrs". Interferometra darbības pamatā ir fotonu skaita, kas nonāk divos pietiekami tālu novietotos gaismas uztvērējos, korelācijas meklējumi. Šis interferometrs nav jutīgs pret fāzu fluktuācijām, kas rodas atmosfērā un jonosfērā, tādēļ te var izmantot lielu bāzi. Lielākais intensitātes interferometrs atrodas Narabri observatorijā Austrālijā. Šā interferometra spoguļu maksimālais attālums ir 190 m, izšķirtspēja $d'' = 0'',0005$.

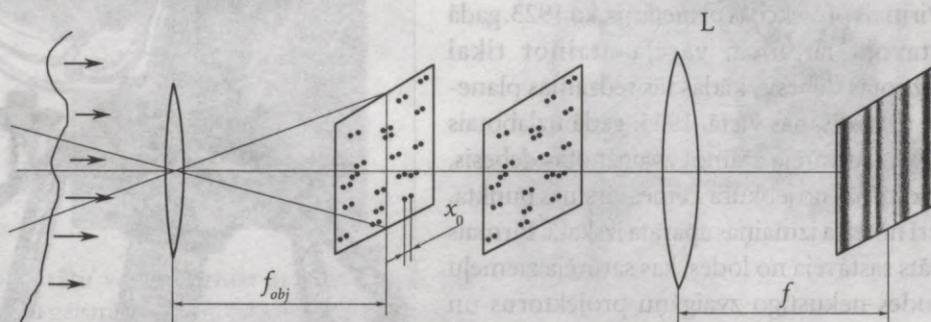
Intensitātes interferometra shēma ir vienkārša. Pret kādu zvaigzni vērstu divu parabolisku spoguļu fokusos ievieto fotoelektronu pavairotāju fotokatodus. Fotonu skaits, kas nonāk katrā fotoelektronu pavairotājā, fluktuē. Ja gaismas avots ir punktveida, šīs fluktuācijas viena ar otru labi korelē. Korelācija pastāvēs arī starp fotoelektronu skaitu un fotostrāvām. Fotostrāva ir proporcionāla fotokatoda apgaismojumam, t. i., gaismas intensitātei. No šejienes arī radies interferometra nosaukums.

Fotonu skaita fluktuāciju korelācija samazinās, palielinot attālumu starp spoguļiem. Pietiekami lielā attālumā korelācija kļūst vienlīdzīga nullei. Ja gaismas avots nav punktveida, tad korelācijas samazināšanās ir straujāka lielāka izmēra gaismas avotiem. Sakarību starp korelācijas izmaiņas ātrumu un zvaigznes izmēru var aprēķināt. Korelācijas funkciju dažādiem spoguļu attālumiem salīdzina ar aprēķiniem, kas izdarīti punktveida un dažāda diametra gaismas avotiem. Lai izvairotos no gadījuma kļūdām, informācijas uzkrāšanu veic ilgstoši. Tā Sīriusa novērošana ilga 18 stundu. Iegūtais rezultāts $0'',0068 \pm 0'',0005$.



Intensitātes interferometrs Narabri

Speklu interferometrs. Iepriekš minējām, ka speklu struktūra traucē zvaigžņu novērošanu. Franču fiziķim A. Laberī 1974. gadā izdevās izstrādāt metodes, kurās speklu struktūru izmanto gan zvaigžņu diametru mērīšanai, gan arī attāluma noteikšanai starp dubultzvaigznēm. Aplūkosim pēdējo.



Speklu metodes izmantošana

Pieņemsim, ka tiek novērota dubultzvaigzne, kuras abas komponentes ir vienādi spožas. Atmosfēras turbulences dēļ katra dubultzvaigznes komponente veido savu speklu struktūru. Dubultzvaigzni fotografē monohromatiskā gaismā, izmantojot īsu eksponēšanas laiku. Tādējādi uz fotoplates iegūst divas identiskas speklu struktūras, kuras ir pārbīdītas viena attiecībā pret otru par lielumu

$$x_0 = f_{ob} \cdot \psi,$$

kur f_{ob} – objektīva fokusa attālums, ψ – leņķis starp dubultzvaigznes komponentēm.

Pēc fotoplates ķīmiskās apstrādes iegūst speklu struktūras telpisko spektru lēcas L fokālajā plaknē. Tās būs interferences joslas. Interferences joslu leņķiskais platums ir:

$$\Theta = \lambda/x_0 = \lambda/f_{ob} \cdot \psi.$$

No šejienes viegli atrast leņķisko attālumu starp dubultzvaigžņu komponentēm. Interferences joslu orientācija satur informāciju par komponentu izvietojumu telpā.

Planetārijs. Runājot par astronomiskajiem instrumentiem, nevar nepieminēt planetāriju (lat. *planetarius* – zvaigžņu novērotājs) projektorus. Tos uzskata par svarīgāko izgudrojumu astronomijas zinību popularizēšanai. Pirmo aparātu 1923. gadā konstruēja vācu inženieris doktors Valters Bauersfelds Jēnā firmā “Karl Zeiss”. Konstruācijas pilnveidošanā un uzlabošanā daudz darījis Fricis Pfau.

Doma par planetāriju veidošanu 1918. gadā radās Oskaram fon Milleram. Planetārijs bija iecerēts kupola veidā, kura rādiuss 5 m. Kupola sienā vajadzēja izurbt caurumus, kas atainotu nekustīgās zvaigznes. Sauli, Mēnesi un redzamās planētas speciāls projektorš projicētu uz nekustīgo zvaigžņu kupola.

Laimīgā doma uz kupola nekustīgās virsmas projicēt ne tikai Sauli, Mēnesi un planētas, bet arī zvaigznes, ienāca prātā V. Bauersfeldam. Fricis Pfau rakstīja: “Pirmais modelis bija paredzēts stacionāras iekārtas veidā, jo to bija iecerēts samontēt Vācu muzejā Mīnhenē (ar pola augstumu ap 49° ziemeļu platumā). Tā kā nekustīgās zvaigznes nevajadzēja urbt metāla sienā, tad telpas centrā novietoja dobtu čuguna sferu 50 cm diametrā, kur izvietoja projektorus. Centrālais gaismas avots baroja visus tam apkārt

esošos projektorus. Debesu ziemeļu un dienvidu puslode bija sadalīta 32 apgabalos. Lai izgaismotu debesis ar nekustīgajām zvaigznēm, bija nepieciešami 32 projektori.”

Pirmais projekcijas planetārijs, ko 1923. gadā izgatavoja rūpnīca, varēja atainot tikai zvaigžņotās debesis, kādas tās redzamas planetārija uzstādīšanas vietā. 1925. gadā uzlabotais variants jau varēja atainot zvaigžņotās debesis, kas redzamas no jebkura Zemes virsmas punkta. Tas arī noteica izmaiņas aparāta izskatā. Pirmais aparāts sastāvēja no lodes, kas saturēja ziemeļu puslodes nekustīgo zvaigžņu projektorus un cilindrisku karkasu ar mehānismiem un projektoriem Saules, Mēness un redzamo planētu attēlošanai.

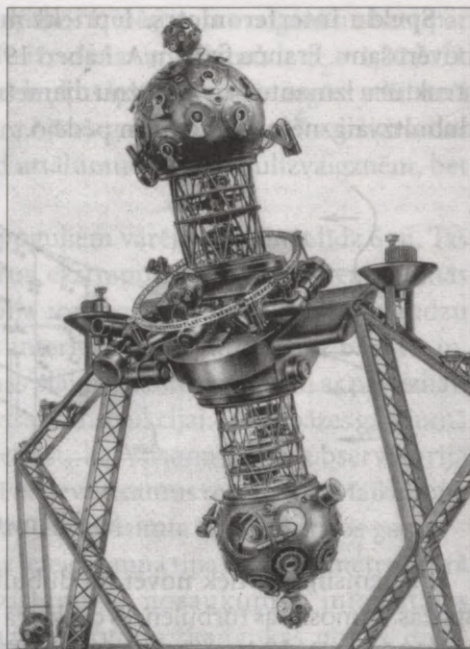
Uzlabotajā konstrukcijā ir atdalīti ziemeļu un dienvidu zvaigžņu projektori, kas atrodas simetriski izvietotās lodēs, un nodalījumi Saules sistēmas ķermeņu projektoriem. Pēdējie veido simetriski novietotus cilindriskas formas karkasus. Vēlākā laika modeļos izdarīti vēl daudzi citi uzlabojumi: apgaismes sistēma horizonta iezīmēšanai, komētu projektors, Sīriusa paralakses projektors, maiņzvaigžņu projektors. Ar jaunākajiem modeļiem var demonstrēt Saules un Mēness aptumsumus, polārblāzmu un kosmiskos lidojumus. Pirmās plates zvaigžņu projekcijām izgatavoja fotogrāfiskā ceļā. Taču šis veids nebija veiksmīgs, jo neizdevās iegūt pietiekamu optisko blīvumu un labu projekcijas kvalitāti. Vēlāk nekustīgās zvaigznes projicēja caur vara foliju, kurā bija izveidoti caurumiņi. Tad varēja iegūt nevainojamus zvaigžņu attēlus uz tumša fona. Uzlabotajam modelim bija trīs ass: polārā ass, kas atbilst debess juma diennakts maiņai, ekliptikas ass Saules, Mēness un planētu kustības demonstrēšanai un austrumu – rietumu ass, lai pārvietotu pola augstumu.

1964. gadā Rīgā uzstādīja speciālas konstrukcijas projektoru kupolam ar 16 m diametru. Diemžēl pēc Latvijas neatkarības atgūšanas planetārijs vairs nedarbojas, jo neatradās telpas projektora uzstādīšanai.

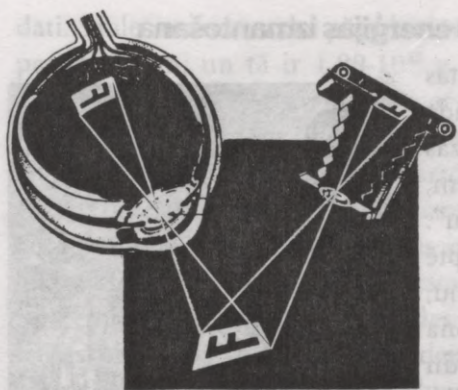
Fotoaparāts. Fotoaparāta un acs optiskās sistēmas ir analogiskas. Tādēļ fotoaparāta izšķirtspēju arī var aplūkot divos aspektos. Pirmkārt, var novērtēt lineārās izšķiršanas robežu pēc Releja kritērija, otrkārt, ievērot fotoemulsijas graudainību. Vērtējot pēc Releja kritērija, lineārās izšķiršanas robeža $\Delta y = f \Delta \varphi$, kur $\Delta \varphi = \varphi_1 = 1,22 \lambda / D$, f – objektīva fokusa attālums, D – objektīva apertūras diametrs.

Objektīvu izšķirtspējas raksturošanai parasti izmanto svītru skaitu milimetrā, ko objektīvs vēl izšķir. Tādā gadījumā $N = 1/\Delta y = D/1,22 \lambda f$.

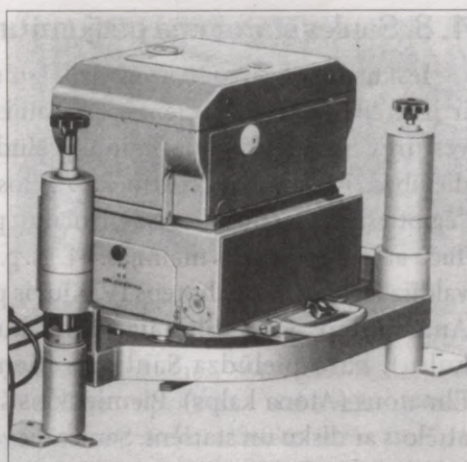
Izvēloties $\lambda = 5,5 \cdot 10^{-4}$ mm, varam rakstīt $N = 1490 \cdot D/f = 1490/k$, kur $k = f/D$ ir relatīvas atveres apgrieztais lielums, kas atzīmēts uz fotoobjektīva skalas.



Planetārija projektors, 1961. gada modelis



Fotoaparātu var salīdzināt ar cilvēka aci. Lai regulētu gaismas plūsmu fotoaparātā, diafragma jāiestāda ar roku. Modernajos aparātos diafragmu regulē automātiski. Automātiski tiek regulēta gaismas plūsma arī aci

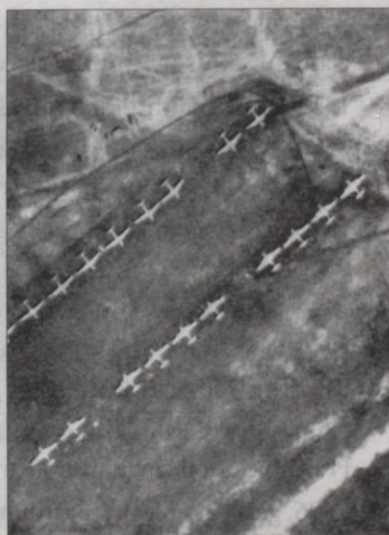


Aerofotokamera MRB 11,5/1818 ar fotoelektrisko eksponometru "Aerolukss"

Teorētiskā izšķirtspēja ir proporcionāla relatīvai atverei D/f . Reālam objektīvam ir aberācijas, tādēļ tā izšķirtspēja ir mazāka nekā pēc minētās formulas izskaitļotā. Gaismas spējīgiem objektīviem reālā izšķirtspēja pat pieaug, samazinot relatīvo atveri, jo aberācijas samazinās. Tikai relatīvām atverēm no $1/8$ līdz $1/11$ reālā izšķirtspēja tuvojas teorētiskai.

Fotokameras, kuras izmanto tālu objektu fotografēšanai, pēc būtības ir teleskopi, ar kuriem attēlu iegūst nevis uz tiklenes, bet gan fotoemulsijā. Lai panāktu labu izšķirtspēju, nepieciešams speciāls objektīvs. Aerofotoobjektīvu diametrs var sasniegt pusmetru. Mūsdienu lidmašīnās var izmantot ļoti lielas aerofotokameras, kuru objektīvu fokusu attālumi var būt vairāki metri. Tādās kamerās iegūst lielisku attēla kvalitāti, kas nodrošina dažu centimetru lielu detaļu izšķiršanu.

Fotogrāfiskajam attēlam ir graudaina struktūra. Fotogrāfiskā grauda lielums ir atkarīgs no emulsijas tipa. Jutīgās emulsijas ir rupjgraudainas, mazjutīgās – smalkgraudainas. Emulsijas graudainības dēļ fotogrāfijas izšķirtspēja ir ievērojami mazāka nekā objektīvam. Šeit ir svarīga emulsijas izšķirtspēja. To raksturo ar maksimālo svītru skaitu, ko var reģistrēt un izšķirt fotoemulsijā. Jutīgiem fotomateriāliem tā ir $40 - 50$ sv/mm, mazjutīgiem – $200 - 300$ sv/mm. Hologrāfiskajiem materiāliem izšķirtspēja ir par kārtu lielāka. Fotoobjektīva un fotomateriālu izšķirtspēja izlīdzinās atverēm, kas mazākas par $1/22$.



Padomju lidlauka aerofotouzņēmums, kuru 1960. gada 9. aprīlī no 20 km liela augstuma ieguva ASV izlūks Francis G. Powers (*Powers*) no lidmašīnas U-2 borta

4. 8. Saules starojuma pētījumi un Saules enerģijas izmantošana

Ieskats Saules izpētes vēsturē. Jau senās tautas ir izturējušās ar dziļu cieņu pret Sauli. To pierāda vēstures liecības. Senajā Ēģiptē pielūdza daudzas dievības. Pēc franču zinātnieka Ž. Bosjē vārdiem, "ēģiptiešiem viss bija dievības, izņemot pašu dievu". Taču ar laiku stāvoklis mainījās. 14. gs. p. m. ē. Ēģiptē valdīja faraons Amenhoteps IV. Kļuvis par faraonu, Amenhoteps IV iedibināja jaunu kultu (Atona kultu), kurā pielūdza Sauli, un pieņēma vārdu Ehnatons (Atona kalps). Pieminēkļos šis dievs tika attēlots ar disku un stariem. Saules dievināšana bija izplatīta arī Babilonijā, Amerikā un starp citām senām tautām.

Saule vienmēr ir izraisījusi cilvēku interesi. Jau ar pirmo optisko instrumentu parādīšanos tie tika izmantoti Saules izpētei.

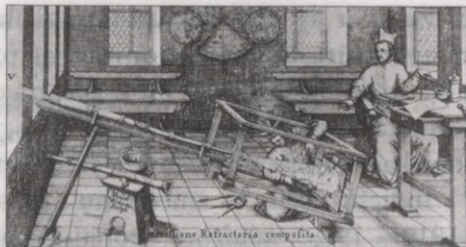
- 350. g. p. m. ē. reģistrētas pirmās ziņas par Saules plankumiem.
- 28. g. p. m. ē. sāka sistemātiska Saules plankumu reģistrēšana Ķīnā.
- 1611. gadā Galilejs ar savu teleskopu novēroja Saules plankumus. Vienlaikus ar Galileju šādus pētījumus veica K. Šeiners un I. Fabriciuss.
- 1814. gadā Fraunhofers novēroja tumšās līnijas Saules spektrā.
- Kopš 1836. gada regulāri tika novēroti Saules aptumsumi, tādējādi tika atklāta hromosfēra, korona un novērotas protuberances.
- 1843. gadā vācu astronoms Heinrihs Švābe (1789 – 1875) atklāja Saules aktivitātes cikliskumu.
- 1845. gadā A. Fizo un Ž. Fuko ieguva Saules dagerotipu.
- 1857. gadā Londonas Karaliskā biedrība uzdeva V. Delarī uzbūvēt ftoheliogrāfu Kjū observatorijai, kura 1861. gadā sāka sistemātisku Saules plankumu fotografēšanu.
- 1860. gadā Kirhofs, pamatojoties uz spektru apgriežamības principu, izskaidroja Fraunhofera līniju rašanos un konstatēja metālu tvaikus Saules atmosfērā.
- 1906. gadā Saules plankumu spektru pētījumi Vilsona kalna observatorijā liecināja, ka plankumu temperatūra ir zemāka nekā fotosfērai.
- 1908. gadā amerikāņu astronoms Džordžs Heils (1868 – 1938) Saules plankumos novēroja Zēmaņa efektu Fraunhofera līnijām, kas pierādīja magnētiskā lauka esamību šajos plankumos.

Saules raksturlielumi. 20. gadsimtā sakarā ar kosmiskās tehnikas attīstību un jaunu pētīšanas metožu izmantošanu par Sauli iegūta ļoti plaša informācija. Ilustrācijai daži

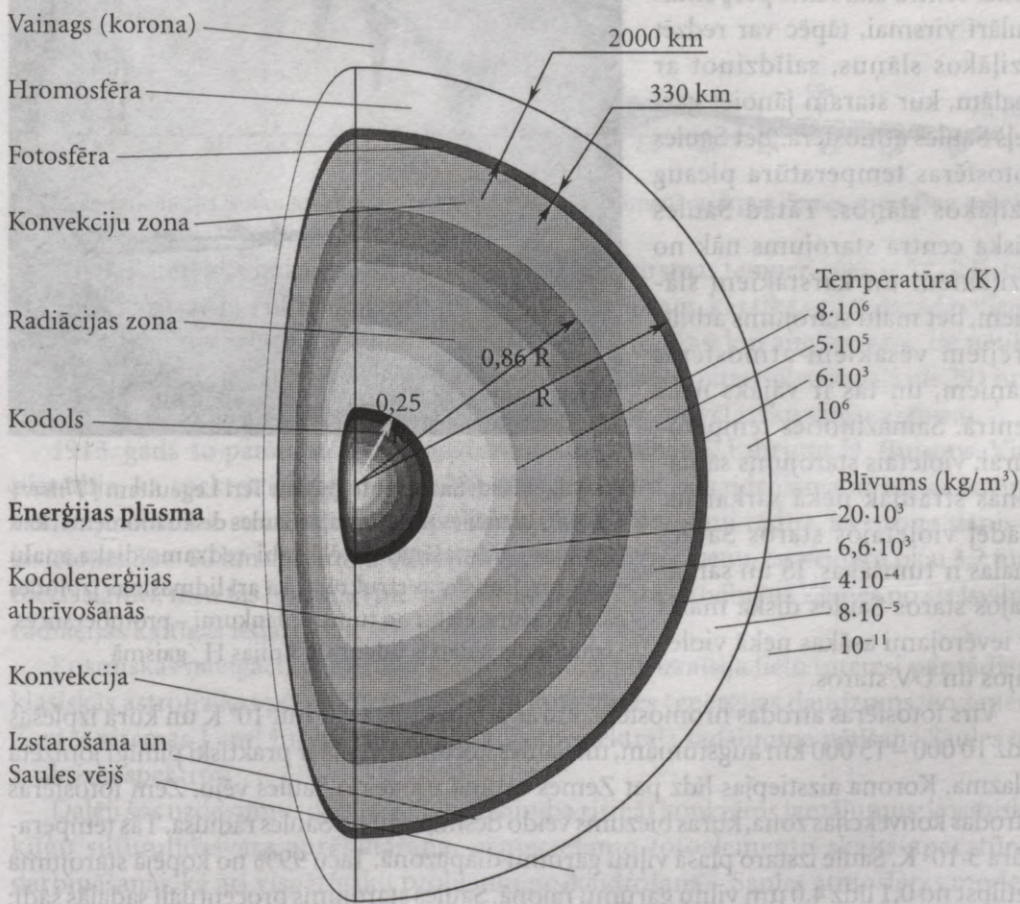


Saules kulta Babilonijā

dati. Saules masu nosaka pēc planētu orbītu parametriem, un tā ir $1,99 \cdot 10^{33}$ g. Vidējo attālumu līdz Saulei var noteikt ar debesu mehānikas metodēm, ja zināms attālums starp diviem Saules sistēmas ķermeņiem. Pašreiz precīzākais rezultāts iegūts, izmantojot attālumu līdz Venerai, kas izmērīts ar radiolokācijas metodi. Vidējais attālums starp Sauli un Zemi ir $L = 1,496 \cdot 10^{13}$ cm. Saules vidējais leņķiskais diametrs ir $31'59''$ un vidējais lineārais rādiuss $R_s = 6,96 \cdot 10^{10}$ cm. Telpas leņķis, kādā novēro Sauli no Zemes, ir $6,8 \cdot 10^{-5}$ sr. Saules redzamo izstarojošo virsmu sauc par fotosfēru. Tā izstaro Saules enerģijas lielāko daļu. Fotosfēras spožumu nosaka tās virsmas temperatūra, kas ir 5770 K, un tā ir aprēķināta pēc pilnā starojuma, izmantojot Stefana – Bolcmaņa likumu. Fotosfēras slāņa



Kristofs Šeiners (1575 – 1650) 1611. gadā neatkarīgi no Galileja un Fabriciusa atklāja Saules plankumus. 1613. gadā Šeiners pēc Keplera apraksta uzbūvēja pirmo refraktoru, ar kuru Saules attēlu projicēja uz ekrāna

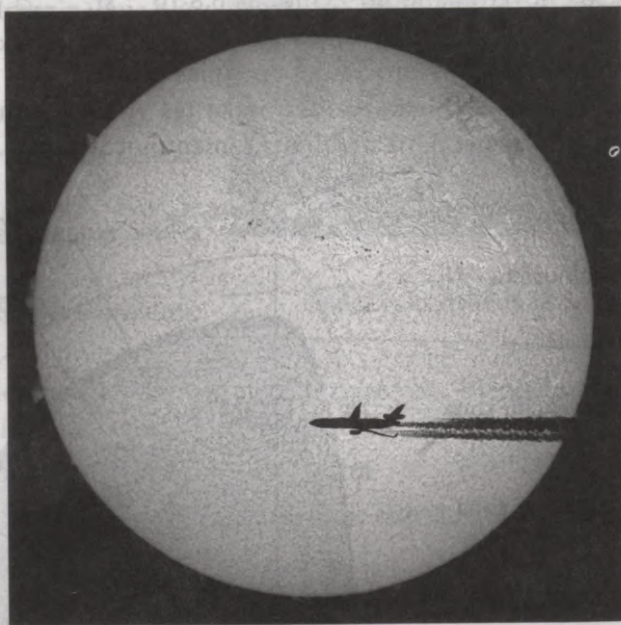


Saules šķērsriezuma shematiskais attēls

biezums ir ap 330 km, un tās dziļāko slāņu temperatūra sasniedz 6600 K. Šādā temperatūrā ūdeņraža jonizācijas pakāpe ir apmēram 1%. Fotosfēras gaismas necaurļaidību sarkanajā un IS spektra daļā, pēc vācu izcelsmes amerikāņu astronoma Ruperta Vilda (1905 – 1976) domām, izraisa brīvie elektroni un negatīvie ūdeņraža joni, kas veidojas no ūdeņraža atomiem fotosfērā, uztverot brīvos elektronus.

Indiešu izcelsmes amerikāņu fiziķis un astrofiziķis Subrahmanjans Čandrsekars (1910 – 1995), salīdzinot teorētiski paredzamo Saules diska malu spožuma samazināšanos ar novēroto, ieguva labu rezultātu saskaņā. Iespējams, ka UV rajonā caurspīdības samazināšanās, ko novēroja ar raķešu palīdzību, galvenais cēlonis ir ūdeņraža molekulas. Tādēļ ūdeņraža molekulas un negatīvie joni nosaka to dziļumu, kādā varam ielūkoties Saules iekšienē, fotosfēras robežu un arī Saules spīdošo ārējo robežu.

Saules diska malas ir tumšākas par centru. To var izskaidrot šādi. Redzes stars nonāk Saules atmosfērā līdz slāņiem, kuri kļūst necaurspīdīgi. Saules diska centrā stars krīt perpendikulāri virsmai, tāpēc var redzēt dziļākos slāņus, salīdzinot ar malām, kur staram jānoiet garš ceļš Saules atmosfērā. Bet Saules fotosfēras temperatūra pieaug dziļākos slāņos. Tātad Saules diska centra starojums nāk no dziļākiem un karstākiem slāņiem, bet malu starojums atbilst ārējiem vēsākiem atmosfēras slāņiem, un tas ir vājāks nekā centrā. Samazinoties temperatūrai, violetais starojums samazinās straujāk nekā sarkanais. Tādēļ violetajos staros Saules malas ir tumšākas. IS un sarkanajos staros Saules diska malas ir ievērojami asākas nekā violetajos un UV staros.

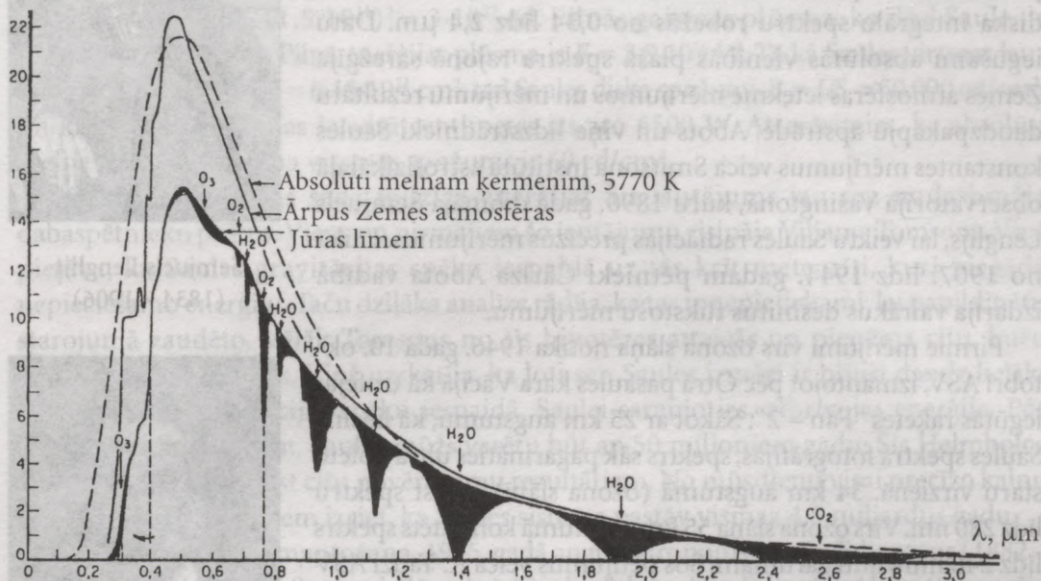


Pieredzējušam Saules fotogrāfam Teri Legaultam (*Thierry Legault*) laimējies nofotografēt Saules disku momentā, kad to šķērso lidmašīna. Attēlā labi redzams diska malu ēnojums, fotosfēras struktūra, kā arī lidmašīnas izplūdes gāzu izraisītie efekti un tumšie plankumi – protuberances. Uzņēmums izdarīts ūdeņraža līnijas H_{α} gaismā

Virs fotosfēras atrodas hromosfēra, kuras temperatūra var būt 10^6 K un kura izplešas līdz 10 000 – 15 000 km augstumam, un Saules korona. Pēdējā ir praktiski pilnīgi jonizēta plazma. Korona aizstiepjas līdz pat Zemes orbītai un veido Saules vēju. Zem fotosfēras atrodas konvekcijas zona, kuras biezums veido desmitdaļu no Saules rādiusa. Tās temperatūra $5 \cdot 10^5$ K. Saule izstaro plašā viļņu garumu diapazonā. Taču 99% no kopējā starojuma ietilpst no 0,1 līdz 4,0 μm viļņu garumu rajonā. Saules starojums procentuāli sadalās šādi:

- 9% ir UV starojums līdz $0,39 \mu\text{m}$ viļņu garumam,
- 47% dod spektra redzamā daļa ($0,39 - 0,76 \mu\text{m}$),
- 44% izstaro IS rajonā virs $0,76 \mu\text{m}$ viļņu garumiem.

Saules izstarotās enerģijas plūsma ir $3,9 \cdot 10^{33}$ erg/s jeb $3,9 \cdot 10^{26}$ W.



Enerģijas sadalījums Saules spektrā pēc novērojumiem jūras līmenī un ārpus Zemes atmosfēras robežas

Ilgu laiku netika izskaidrots šāds fakts. Ja Saules virsmas temperatūra ir 5770 K, tad tai ir jāizstaro īsviļņu ultravioletie stari. Taču novērojumos, kas tika veikti dažādās vietās uz Zemes augstu kalnos un lidojumos ar aerostatiem līdz 9 km augstumam, tie netika konstatēti. Jebkurā gadījumā Saules spektrs pēkšņi izbeidzas ultravioletajā daļā pie 291 nm, kaut gan skābeklis un slāpeklis labi laiž cauri radiāciju ar vēl īsāku viļņu garumu.

1913. gadā šo parādību izskaidroja franču zinātnieki Š. Fabri un H. Buisons. Viņi pierādīja, ka spektra izbeigšanās ar 291 nm garu vilni izskaidrojama ar to, ka īsviļņu radiāciju absorbē stratosfērā esošais ozons. Vēlākie pētījumi rādīja, ka ozona slānis ir izvietojies 30 – 50 km augstumā. Reducēts uz normālo spiedienu, tas veidotu tikai 3,2 mm biezu slānīti, taču tas ir pilnīgi pietiekami, lai pasargātu dzīvību uz Zemes no šīs īsviļņu radiācijas kaitīgās iedarbības.

Kosmiskās navigācijas attīstība 1965. – 1970. gadā izraisīja lielu interesi par tādiem klasiskās astrofizikas pētījumiem kā Saules konstantes (enerģijas daudzums, ko saņem Zemes virsmas 1 cm^2 1 minūtē) noteikšana un spektrālā sadalījuma pētīšana Saules un zvaigžņu spektros.

Daļēji šos uzdevumus diktēja nepieciešamība risināt konkrētus jautājumus: kosmisko kuģu siltumlīdzsvara aprēķināšana, nepieciešamo fotoelementu skaits aparātūras darbināšanai, kā arī vispārīgāku problēmu noskaidrošana – Saules atmosfēras modeļa izstrāde un Zemes atmosfēras siltumlīdzsvara pētīšana. Saules enerģijas spektrālā

sadalījuma pētījumi, ko 20. gadsimta sākumā veica amerikāņu astrofiziķi Semjuels Lenglijs (1834 – 1906) un Čārlzs Abots (1872 – 1973), bija darbietilpīgi. Saules konstanti aprēķināja pēc novērojumiem, kas tika veikti uz Zemes, izmantojot Saules pirometru un spektra bolometru. Pēdējais mērija visa Saules diska integrālo spektru robežās no 0,34 līdz 2,4 μm . Datu iegūšanu absolūtās vienībās plašā spektra rajonā sarežģīja Zemes atmosfēras ietekme mērījumos un mērījumu rezultātu daudzpakāpju apstrāde. Abots un viņa līdzstrādnieki Saules konstantes mērījumus veica Smitsona institūta astrofizikālajā observatorijā Vašingtonā, kuru 1890. gadā dibināja Semjuels Lenglijs, lai veiktu Saules radiācijas precīzus mērījumus. Laikā no 1907. līdz 1944. gadam pētnieki Čārlza Abota vadībā izdarīja vairākus desmitus tūkstošu mērījumu.

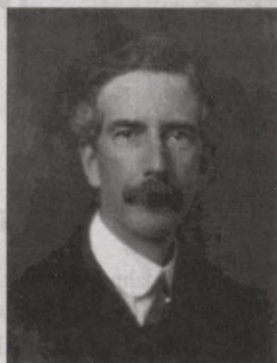


Semjuels Lenglijs
(1834 – 1906)

Pirmie mērījumi virs ozona slāņa notika 1946. gada 10. oktobrī ASV, izmantojot pēc Otrā pasaules kara Vācijā kā trofejas iegūtās raķetes “Fau – 2”. Sākot ar 25 km augstumu, kā liecina Saules spektra fotogrāfijas, spektrs sāk pagarināties ultravioleto staru virzienā. 34 km augstumā (ozona slānī) iegūst spektru līdz 280 nm. Virs ozona slāņa 55 km augstumā konstatēts spektrs līdz 240 nm viļņu garumam. Šos pētījumus veica R. Tauzi ASV jūras karaspēka pētnieciskajā laboratorijā.

Apkopojot plašu pētījumu materiālu, tika ieteiktas šādas Saules efektīvās temperatūras un konstantes vērtības:

- $T_{ef} = 5770 \pm 10 \text{ K}$,
- starojuma intensitāte $(2,00 \pm 0,02) \cdot 10^{10} \text{ erg/cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{sr}$,
- Saules konstante $E_0 = 1,95 \pm 0,02 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min} = 136 \pm 1,4 \text{ mW/cm}^2$.



Čārlzs Abots
(1872 – 1973)

Saules aktivitātes cikli. 1980. gadā radiometri, kas atradās pavadoņos “Nimbus – 7” un SMM (*Solar Maximum Mission*), liecināja, ka Saules konstante mainās 0,2% robežās dažu nedēļu laikā. Izmaiņas saistītas ar Saules rotāciju, un tās izraisa nevienmērīgais plankumu un lāpu sadalījums Saules virsmā. Novēroja arī ilgperioda izmaiņas. Saules spožums samazinājās par 0,1% 1986. gadā – aktivitātes minimuma laikā, salīdzinot ar spožumu 1981. gadā – aktivitātes maksimuma laikā. Laika periodā no 1645. gada līdz 1715. gadam konstatēti tikai nedaudzi Saules plankumi un praktiski nebija plankumu skaita cikliskas izmaiņas. Minētais periods nosaukts angļu astronoma, kurš pievērsa uzmanību šim faktam, Valtera Maundera (1851 – 1928) vārdā par “Maundera minimumu”. Šajā periodā novērots neparasti auksts laiks, kas pazīstams kā “mazais leduslaikmets” (sk. arī attēlu 317. lpp.). Senī dokumenti liecina, ka zems Saules aktivitātes periods bijis arī laikā no 1450. gada līdz 1550. gadam. Turpretī pastiprināta Saules aktivitāte bijusi laikā no 1100. gada līdz 1250. gadam, kad bijis relatīvi silts laiks. Tas

veicināja vikingu migrāciju Grenlandē un Amerikā. Prognozē, ka kārtējā Saules radiācijas samazināšanās gaidāma 21. gadsimtā.

Normālos apstākļos katrs laukuma kvadrātmeters uz Zemes atmosfēras robežas perpendikulāri Saules stariem saņem 1360 W Saules enerģijas, kas dod 135 000 lx apgaismojumu. Tā kā apgaismojums $E = I/L^2$, tad var aprēķināt Saules gaismas stiprumu $I = E \cdot L^2 = 135\,000 \cdot (1,5 \cdot 10^{11})^2 = 3 \cdot 10^{27}$ cd. Pilnās gaismas plūsma, ko dod Saule, ir $F = 4\pi I = 3,8 \cdot 10^{28}$ lm. Pilnā enerģijas plūsma ir $F_e = 3,9 \cdot 10^{26}$ W. Tā kā Saules virsmas laukums ir $S_s = 4\pi(7 \cdot 10^{10})^2 = 6,15 \cdot 10^{22}$ cm², tad Saules diska spožums $B_s = I/S_s = 50\,000$ cd/cm², un katrs Saules virsmas kvadrātcenimeters izstaro 6500 W. Atcerēsimies, ka absolūti melna ķermeņa etalona virsmas spožums ir 60 cd/cm².

No kurienes rodas šāda milzīga enerģija? Šis jautājums jau sen nodarbināja dabaspētnieku prātus. Viens no pirmajiem šo jautājumu risināja Viljams Tomsons. Viņš pieļāva, ka Saules gravitācijas spēku iespaidā uz tās krīt meteorīti, kuri piegādā nepieciešamo enerģiju. Taču dziļāka analīze rādīja, ka tas ir nepietiekami, lai papildinātu starojumā zaudēto. Vēlāk Tomsons no šīs hipotēzes atteicās un pieņēma citu, kuru izvirzīja H. Helmholcs. Viņš uzskatīja, ka ļoti sen Saules izmēri ir bijuši daudz lielāki nekā pašlaik. Gravitācijas spēku iespaidā, Saulei saraujoties, atbrīvojas enerģija. Pēc Helmholca aprēķiniem, Saules mūžs varētu būt ap 50 miljoniem gadu. Šis Helmholca secinājums arī neatbilst citu novērojumu rezultātiem. No mūsdienu visai precīzo kalnu iežu vecumu pētījumiem izriet, ka Saules sistēma pastāv vismaz 4,5 miljardus gadu.

Saules enerģijas izmantošana. 1925. gadā angļu astronoms Artūrs Edingtons (1882 – 1944) izteica domu, ka Saules dzīlēs atbrīvojas kodolenerģija. Edingtona hipotēze varēja rasties kā secinājums Einšteina atklātajam likumam par masas un enerģijas saistību. Saules starojuma enerģija rodas kodolsintēzes procesā uz Saules masas samazināšanās rēķina. Tā kā pēc Einšteina likuma $E = mc^2$, tad Saule katru sekundi zaudē $m = E/c^2 = 3,9 \cdot 10^{26} / (3 \cdot 10^8)^2 = 4,3 \cdot 10^9$ kg masas. No šā daudzuma Zemes apgaismotā puse saņem enerģiju, kas ekvivalenta 1,9 kg/s. Šī Saules masa, kas pārvērsta enerģijā, arī nodrošina visus procesus uz Zemes un tās atmosfērā. Saules starojumā katrs jaudas vats (50 000/6500) nodrošina 8 cd stipru gaismu. No parastās 100 W elektriskās spuldzes var iegūt 1cd/W, bet stearīna svece iztērē 8 W, lai iegūtu 1 cd stipru gaismu. Tātad gaismas starotspējas ziņā Saule ir 8 reizes efektīvāka par spuldzi un 60 reižu efektīvāka par sveci. Tas izskaidrojams ar to, ka sveces liesmas temperatūra ir tikai apmēram 1930 K, volframa kvēldiega temperatūra 2760 K. Šādās temperatūrās izstaro galvenokārt IS spektra rajonā.

Par Sosīra karsto kasti, ar kuru var iegūt samērā augstu temperatūru, jau runājām agrāk. Karstās kastes dažādus variantus praksē izmanto samērā plaši. Tās ir siltumnīcas, oranžērijas, ūdens atsāļošanas iekārtas, augļu žāvētavas, Saules ūdens sildītāji u. c. ierīces, kas pārvērš Saules starojumu siltuma enerģijā. Pēc 1965. gada datiem, ASV darbojās vairāk nekā 100 000, bet Izraēlā vairāk nekā 20 000 Saules ūdens sildītāju. Šādas iekārtas izdevīgi uzstādīt rajonos, kur ir liels saulaino dienu skaits. Liela nozīme ir ūdens atsāļošanas ierīcēm, sevišķi rajonos, kas nabadzīgi ar saldūdeni. Šo ierīču 1 m² var nodrošināt 20 l saldūdens ieguvu dienā. Dažus piemērus sk. krāsu ielikumā.

20. gadsimta 60. gados veica plašus pētījumus sakarā ar Saules enerģijas izmantošanu māju apsildīšanai. Masačūsetsas Tehnoloģiskā institūta inženieri Leksingtonā, netālu

no Bostonas, uzbūvēja māju, kuru pilnīgi apsildīja ar Saules enerģiju. Apsildes sistēmas galvenā daļa ir Saules sildītājs, kas novietots uz jumta, tā laukums ir 60 m². Sildītājs sastāv no diviem slāņiem: virspusē stikls, zem tā – melnināts alumīnijs. Alumīnijs uztver Saules starus, bet stikls neļauj aizplūst garo viļņu siltumstarojumam. Alumīnija plāksnēm ir piemetinātas vara caurules, pa kurām cirkulē ūdens. Sasilušais ūdens nonāk pagrabā rezervuārā, kura tilpums ir 5500 litru. No rezervuāra ūdens tālāk nonāk siltumapmaiņas radiatorā. Sasildītais gaiss pa speciālām šahtām nonāk telpās. Apmākušās dienās izmanto speciālu naftas sildītāju. Vasarā ūdeni rezervuārā atdzesē, un istabās ievada atdzesētu gaisu. Šādas sistēmas ierīkošana izmaksā dārgāk par parasto centrālāpkures sistēmu, taču lētāka ir tās ekspluatācija.

Ļoti perspektīva ir Saules enerģijas izmantošana dažādu materiālu termiskai apstrādei un kausēšanai. Šis iekārtas sastāv no īsfokusa spoguļa Saules enerģijas fokusēšanai, krāsns un automātiskas sistēmas, kas nodrošina spoguļa ass vērsumu Saules virzienā. Krāsns ir īpaša kamera ar gaismu caurlaidošiem lodziņiem, kurā var iegūt vakuumu, inerto gāzu atmosfēru vai arī citus specifiskus apstākļus. Temperatūra Saules krāsnīs var sasniegt 3600 °C. Saules iekārtu ievērojamās pašizmaksas dēļ tās izmanto, kad nepieciešami sevišķi sterili apstākļi, piemēram, augstas tīrības pakāpes materiālu ieguvē, pusvadītāju materiālu apstrādē u. c. gadījumos. Lielākā Saules iekārta darbojas Francijā. Tās spoguļa diametrs ir 54 m, jauda ap miljons vatu.

Fotosintēze. Dzīvības procesus uz Zemes nodrošina fotosintēze. Pārveidojot Saules enerģiju, augi apgādā cilvēkus un dzīvniekus ar skābekli un barību. Šveices dabaszinātnieks Žans Senebjē (1742 – 1809) tēlaini sacīja: “Es redzu, ka manas asinis veidojas maizes vārpā..., bet koksne ziemā atdod siltumu, uguni un gaismu, ko tā nolauņījusi Saulei.”

Absorbējot gaismas kvantu, hlorofila molekula ievada sarežģītu fotosintēzes, fotoķīmijas un bioķīmijas procesu. Fotosintēzi 1771. gadā atklāja Džozefs Prīstlijs, kurš pazīstams arī kā skābekļa atklājējs.

Prīstlijs jau bērnībā alka zināšanu. Skolā viņš apguva filozofiju, loģiku un matemātiku, zināja grieķu, latīņu, franču, itāļu, vācu, senebreju, arābu, asīriešu un haldiešu valodas. Pēc Garīgās akadēmijas beigšanas Prīstlijs nodarbojās ar zinātniskiem pētījumiem, vēloties atklāt paņēmienu, kā attīrīt degšanas procesā piesārņotu gaisu.

1772. gadā Prīstlijs rakstīja: “Laimīga gadījuma dēļ man izdevās atklāt metodi, kā attīrīt gaisu, kas piesārņots sveces degšanas procesā, un izstrādāt vienu no attīrīšanas veidiem, kuru daba izmanto šim mērķim. Ja gaiss ir nepieciešams elpošanai gan augu, gan dzīvnieku dzīvē, tad augiem un dzīvniekiem tas ir vienādi jāiespaido. Atzīstos, ka es tā arī uzskatīju, kad ievietoju piparmētras stādu stikla krūzē, kas apvāzta traukā ar ūdeni. Bet, kad stāds vairākus mēnešus turpināja augt, es pārlicinājos, ka gaiss krūzē nenodzēš sveci un nekaitē pelei, kuru tur ievietoju. Tie ir augi, kas attīra gaisu.”

Prīstlija eksperimenti stipri ietekmēja viņa laikabiedrus. Londonas Karaliskās biedrības prezidents, pasniedzot Prīstlijam Lielo zelta medaļu, sacīja: “No šā brīža mēs zinām, ka visi augi, sākot no ozola mežā līdz zāles stiebriņam laukā, veic savu ieguldījumu, lai uzturētu visai dzīvnieku pasaulei nepieciešamo gaisa tīrību.” Prīstlijs kļuva slavens. Parīzes Zinātņu akadēmija viņu ievēlēja par savu goda locekli.

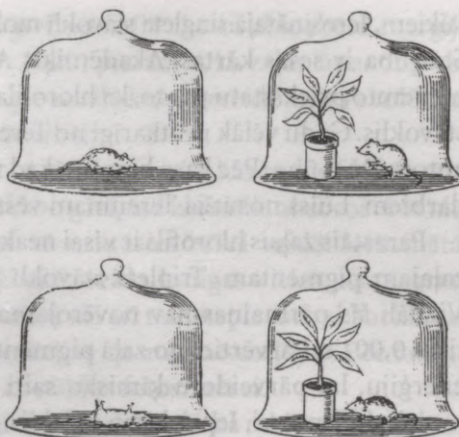
Neiztika arī bez pārpratumiem. Kāda ļoti bagāta dāma vēlējās izmēģināt jauno gaisa attīrīšanas metodi. Viņa pavēlēja savam kalpotājam novietot guļamistabā piecus lielus traukus ar tropu augiem. No rīta, iemantojusi mokošas galvassāpes, dāma paziņoja, ka Prīstlijs ir blēdis un krāpnieks.

Kad ziņa par Prīstlija eksperimentiem sasniedza Zviedriju, Karls Šēle nolēma tos pārbaudīt. Darbs aptiekā aizņēma daudz laika, tādēļ eksperimentiem Šēle varēja atvēlēt tikai vakara un nakts stundas pie vājas sveču gaismas. Viņš konstatēja, ka augi gaisu neuzlabo, bet gan padara to elpošanai nederīgu. Vēlāk noskaidrojās, ka taisnība bijusi abiem zinātniekiem un, ka abi zinātnieki ir arī kļūdījušies. Šēle strādāja svecēs apgaismojumā, kad vāji izteikto fotosintēzes procesu pārspēj augu elpošana, bet Prīstlija eksperimenti norisa dārzā labā apgaismojumā, kad pārsvarā bija fotosintēze.

Fotosintēzes procesa atšifrēšanai zinātnieki veltījuši jau vairāk nekā 200 gadus. Enerģijas saglabāšanās likuma atklājēji R. Maiers un H. Helmholcs izteica domu, ka augos apslēpta ķīmiskā enerģija, ko uzkrājušas zaļās lapas, absorbējot Saules starus. Maiers sacīja: "Lai sasniegtu šo mērķi, daba pārklāja Zemes garozu ar organismiem, kuri savā dzīves laikā uzņem sevī Saules gaismu un, izmantojot šo spēku, rada noteiktu ķīmisko spēku. Šie organismi ir augi." Tajā laikā vēl nebija definēts enerģijas jēdziens, tādēļ Maiers izmantoja terminu "spēks". Savukārt Helmholcs bija pārliecināts: "Saules stara spēks izzūd tajā laikā, kad augos veidojas un uzkrājas degošas vielas, un mēs varam ar lielu varbūtību pieņemt, ka pirmais ir otrā cēlonis. Bet tomēr jāpiebilst, ka mums nav eksperimentu, no kuriem varētu secināt, ka izzudušo staru dzīvais spēks atbilst ķīmisko spēku rezervei, kas tajā laikā uzkrājas. Kamēr tādu eksperimentu nav, mēs nevaram uzskatīt minēto sakarību par pierādītu."

Pētījumi pierādīja, ka sintēzes procesā piedalās ne tikai zaļais pigments, bet arī daudz fermenti. Sintēzes reakcijas notiek ļoti strauji, kas būtiski apgrūtina šo procesu pētīšanu. Piemēram, lai no glikozes veidotu cieti, starposmā 10 000 glikozes molekulām jāpievieno tikpat daudz fosforskābes molekulu. Šai reakcijai tiek patērētas dažas sekundes. Reakcijā, kur ogļskābe gāzi un ūdeni pārvērš cukurā vai kādā citā organiskā savienojumā, līdzdarbojas ne tikai hlorofils, bet arī elektronu un ūdeņraža pārnēsēji, kā arī daudzas citas aktīvas sistēmas.

Vienkāršoti sintēzes procesu var skaidrot šādi. Hlorofila molekula absorbē fotonu un nonāk ierosinātā stāvoklī, t. i., viens no elektroniem tiek pacelts augstākā enerģijas līmenī. Ierosinātais līmenis var būt singlets, ja elektrons savu spinu nemaina, vai triplets, ja elektrons maina spinu uz pretējo. Singleta un tripleta stāvokļi atšķiras ar dzīves



Prīstlija eksperiments. Augšējā attēlā atainota situācija eksperimenta sākumā, apakšējā – pēc piecām stundām

Plankumu izmēri var būt dažādi, bet visbiežāk tie ir 100-200 mikrometri.

laikiem. Ierosinātajā singleta stāvoklī molekula uzturas 10^{-9} s, bet tripleta stāvoklī – 10^{-3} s. Starpība ir sešas kārtas. Akadēmiķis A. Tereņins 1943. gadā pamatoja tagad vispārpieņemto priekšstatu par to, ka hlorofilam fotoķīmiski aktīvais ir ilgi dzīvojošais tripleta stāvoklis. Gadu vēlāk neatkarīgi no Tereņina tādu pašu domu pauda fotona nosaukuma autors Dž. Lūiss. Pēc kara beigām, kad radās iespēja iepazīties ar citu valstu zinātnieku darbiem, Lūiss nosūtīja Tereņinam vēstuli, atzīstot tā prioritāti.

Parastais zaļais hlorofils ir visai neaktīva viela. Taču ierosinātā stāvoklī tas nav līdzīgs zaļajam pigmentam. Tripleta stāvoklī pat mainās tā krāsa – tas kļūst sarkani brūns. Vizuāli šis pārmaiņas nav novērojamas, jo mēs nevaram izsekot procesam, kas ilgst tikai 0,001 s. Pārvērties no zaļā pigmenta sarkani brūnā, hlorofils tērē uztverto gaismas enerģiju, lai pārveidotu ķīmisko saiti molekulās, kuras tiek izmantotas sarežģītāku molekulu sintēzei. Iepriekšējo ogleklis – skābeklis un ūdeņradis – skābeklis saišu vietā rodas jauna tipa saites: ogleklis – ūdeņradis un ogleklis – ogleklis.

Pēc fotona absorbcijas hlorofils nonāk ierosinātā stāvoklī. Viens no elektroniem pa fermentu ķēdīti atstāj hlorofilu. Zaudējis elektronu, hlorofils uzlādējas pozitīvi. Veidojas "caurums". Šo caurumu aizņem viens no ūdens molekulas elektroniem, un tādējādi ūdens molekula sabrūk. Skābeklis izdalās atmosfērā, bet protons piedalās turpmākajās reakcijās. Hlorofila molekula, atgūvusi elektronu, atgriežas neierosinātā stāvoklī un ir gatava nākamajam ciklam. Fotona absorbcija, elektrona zaudēšana un jauna elektrona atgūšana noris strauji. Šiem procesiem vajadzīga gaisma. Elektrona un protona migrācija, kā arī molekulu sintēze, var notikt tumsā. Tai nepieciešams vairāk laika.

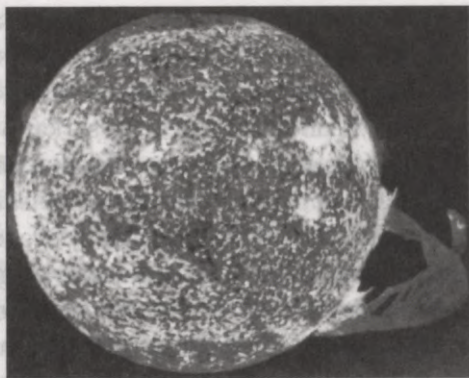
Zinātnieki realizēja eksperimentu. Vienu augu grupu turēja nepārtrauktā apgaismojumā, bet citu – mainīgā apgaismojumā. Gaismas periodus, kuru ilgums bija 0,00001 s, nomainīja tumsas periodi, kuru ilgums bija no 0,04 s līdz 0,4 s. Izrādījās, ka nepārtrauktajā apgaismojumā augi gaismu izmantoja daudzreiz sliktāk, nekā mainoties gaismai un tumsai.

Ja augi ir pietiekami nodrošināti ar barības vielām, tad veidojas lapu virsmas laukums, kas spēj veikt ievērojamu ogļskābās gāzes un ūdens asimilāciju. Fotosintēzes procesā augā uzkrājas organiskās vielas. Vienu hektāru liela rudzu vai kviešu sējuma lapu virsmas laukums ir ap 65 000 m². Tas ļauj augiem pārstrādāt 200 līdz 500 kg ogļskābās gāzes, iztvaicēt 1000 kg ūdens un izdalīt 50 līdz 400 kg skābekļa dienā. Visos šajos procesos augi uzkrāj 100 – 500 kg organisko vielu.

Zaļie augi katru gadu sintezē ap 450 miljardu tonnu organisko vielu. No šā daudzuma 1/8 veido sauszemes augi, bet 7/8 – jūru un okeānu augu valsts. Šī organisko vielu masa nodrošina ar barību visus Zemes iemītniekus. Fotosintēzes procesā augi katru gadu pārstrādā 150 miljardus tonnu ogļskābās gāzes un izdala apkārtējā vidē 120 miljardus tonnu skābekļa. Atmosfēras bagātināšana ar skābekli rada labvēlīgus apstākļus cilvēkiem, dzīvniekiem un mikroorganismiem.

Fotosintēzi var izraisīt gaisma spektra rajonā no 400 līdz 750 nm. Ogļskābās gāzes uzsūkšana visintensīvāk notiek sarkanajos staros. Sarkano staru nozīme ir sevišķi liela augiem, kas mājo ūdenī. Tā 20 metru dziļumā nonāk tikai 0,003% sarkano staru, 2,1% zaļo un 20% zili violeto. Šādā dziļumā gandrīz nemaz nav zaļo augu. Tur var sastapt

Plankumu rašanos saista ar Saules plazmas kustību vājā magnētiskā laukā. Tad rodas strāvas, kas magnētisko lauku pastiprina. Lauka pastiprināšana notiek uz gāzes kinētiskās enerģijas rēķina, pateicoties konvekcijai no Saules dziļākiem slāņiem. Tādēļ var veidoties magnētiskā spēka līniju sablīvējumi. Saules plankumi ir vietas, kur magnētiskā spēka līniju sablīvējumi iznāk fotosfēras virspusē. Sablīvējuma iekšpusē atrodas gāze, kas nevar šķērsot spēka līnijas un iziet cauri sānu virsmai. Tādēļ samazinās konvekcija un karstās plazmas pieplūdums no fotosfēras dziļākiem slāņiem. Tagad ir konstatēts, ka plankumos stiprs magnētiskais lauks traucē konvekciju un izraisa fotosfēras temperatūras pazemināšanos. Toties vietās, kur konvekcija pastiprinās, Saules virsmas temperatūra pieaug un veidojas lāpas. Tas arī izskaidro, kādēļ Saules aktivitātes periodos palielinās tās starojuma jauda.



Cilpveida protuberance

Par Saules plankumu lomu negaidīti dabūja pārliecināties Lielbritānijas armijas radiolokatoru apkalpes Otrā pasaules kara laikā. Kādā 1942. gada pēcpusdienā visas britu lokatoru stacijas "izgāja no ierindas". Intensīvs augstfrekvences radiostarojums noslāpēja parasto lokatora signālu. Sākumā operatori domāja, ka tas ir jauns pretinieka pretpasākums. Taču pārbaude rādīja, ka visi piekrastes lokatori vērsti rietošās Saules virzienā, bet Saules diskā bija redzams milzīgs plankums. Turpmākie novērojumi liecināja, ka Saule tiešām ir augstas frekvences radiostarojuma avots. Novērotais radiospektrs ir robežās no 1 cm līdz 10 m. Īso viļņu daļā to norobežo skābekļa molekulu absorbcija, bet garo viļņu daļā – jonosfēras absorbcija.

11 gadu perioda Saules aktivitātes pastiprināšanās laikā novēro Saules plankumu aktivizēšanos, protuberances, koronas perturbācijas, UV starojuma, rentgena un korpuskulārā starojuma pastiprināšanos. Pastiprinās arī starojums radio diapazonā. Saules aktivitāte stipri iespaido procesus uz Zemes.

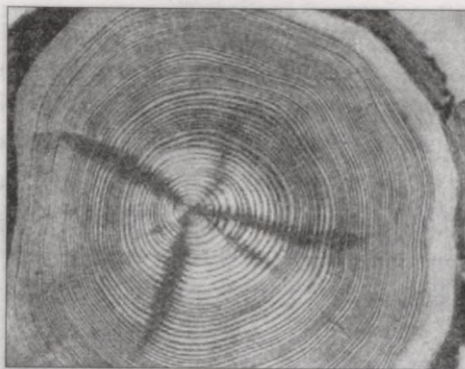
- Ozona daudzums Zemes atmosfērā mainās saskaņā ar Saules plankumu ciklu. Lādēto daļiņu un UV starojuma ienākšana Zemes atmosfērā izraisa ozona daudzuma maiņu, mainās jonosfēras potenciāls, notiek jonosfēras sasilšana.
- Meteorologi uzskata, ka ozona slāņa uzsilšana un atdzišana ir viens no mehānismiem, kā Saule iespaido zemākos atmosfēras slāņus un klimatiskos apstākļus uz Zemes. Ar Saules ciklu saistīta sausuma periodu iestāšanās, ezeru ūdens līmeņu un nokrišņu daudzuma izmaiņas, zemestrīces u. c. Novērots, ja Zeme savā kustībā pa orbītu ap Sauli nonāk sektorā ar pretēju magnētiskā lauka virzienu, tad atmosfērā strauji mainās mākoņu daudzums.
- Endrjū Eliots Duglass (1867 – 1962) Arizonā savāca koku stumbru paraugus no tūkstošiem tādu koku, kas auguši nesen, un tādu, kuri auguši pirms miljoniem gadu.

Izpētot stumbru paraugus, konstatēja augšanas pastiprināšanos Saules plankumu maksimumu gados.

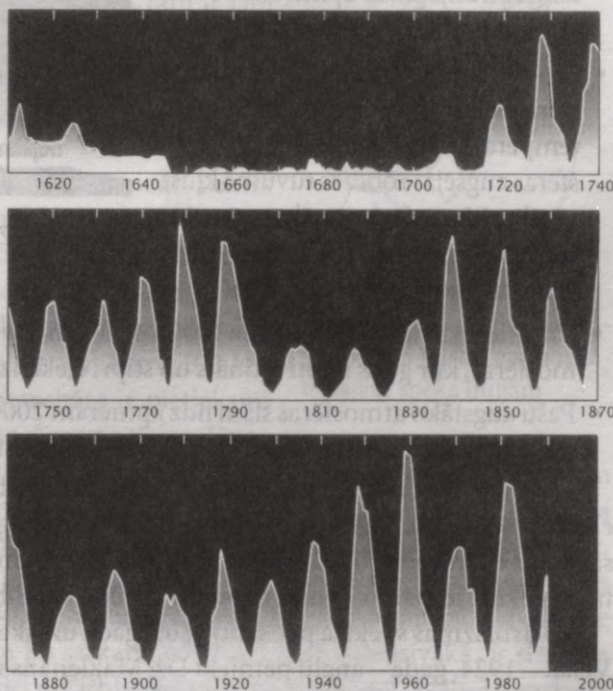
- Balstoties uz liela statistiska materiāla bāzes, pierādīts, ka Saules ritmi iespaido praktiski visus Zemes dzīves procesus. Magnētiskās vētras izraisa dažāda veida saslimšanas, galvenokārt sirds un asinsvadu slimības. Pastāv hipotēze, ka dažādu epidēmiju periodi ir saistīti ar Saules radiācijas izmaiņām. Iespējams, ka senos manuskriptos minētie fakti par milzīgiem Saules plankumiem kā dažādu nelaimju vēstnešiem uz Zemes ir pamatoti.

Praktisku interesi izraisa magnētiskās vētras, kas pastiprinās Saules maksimālās aktivitātes periodos. Par šādām vētrām liecina kompasu adatas svārstības. Šajos periodos tiek traucēti radiosakari. Magnētiskā lauka izmaiņas var izraisīt stipras strāvas elektropārvades līnijās, parazītiskas strāvas var izkausēt drošinātājus. 1989. gada 13. martā Saules aktivitātes maksimuma periodā spēcīga magnētiskā vētra sabojāja Kvebekas provinces elektroapgādes sistēmu. Tā paša gada augustā spēcīga protonu plūsma paralizēja Toronto fondu biržas skaitļošanas centra darbu. Magnētisko vētru laikā pastiprinās optiskās parādības atmosfērā, to skaitā polārblāzma.

Saules aktivitātes periodā īsviļņu UV starojums sakarsē atmosfēras slāņus, kas atrodas vairāk nekā 100 km augstumā. Tas izraisa ievērojamu gāzes blīvuma pieaugumu augšējos atmosfēras slāņos, kur ievadīti kosmiskie aparāti. Blīvuma pieauguma dēļ palielinās kosmisko aparātu bremsēšanās un samazinās to darbības laiks. 1989. gada 2. decembrī šā iemesla dēļ darbību beidza arī pavadoņi SMM.



Ebersvaldes priedes (Vācijā) stumbra šķēlums. Novērojams augšanas apstākļu atkārtosnās 11 gadu periods

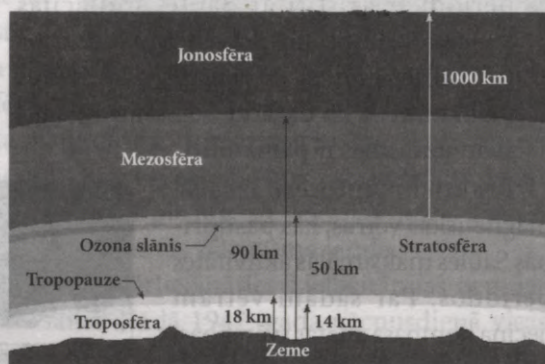


Saules aktivitātes cikli. Uz abscisu ass atlikts Saules plankumu skaits. Saules aktivitātes cikls izpaužas plankumu skaita izmaiņā uz Saules redzamās virsmas. Plankumu deficīts periodā no 1645. līdz 1715. gadam (Maundera minimums) sakrīt ar neparasti auksta klimata iestāšanos

4. 9. Polārblāzma

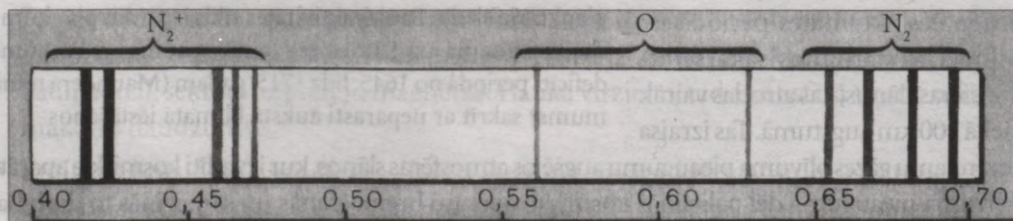
Polārblāzma ir augšējo retināto atmosfēras slāņu mirdzēšana, kas rodas atomu un molekulu mijiedarbībā ar lielas enerģijas elektroniem un protoniem 90 – 1000 km augstumā. Pēc augstuma un īpašībām atmosfēru sadala vairākos slāņos.

- Atmosfēras apakšējā daļa – troposfēra – ir visblīvākais un vissiltākais atmosfēras slānis. Šeit veidojas mākoņi, rodas dažādas optiskās parādības: varavīksne, halo, mirāžas. Troposfērā koncentrēta dzīvība. Tās augšējā robeža virs poliēm ir 8 – 10 km, tropu joslā 16 – 18 km augstumā. Šajā slānī uz katrām 100 augstuma metriem temperatūra pazeminās vidēji par 0,6 °C.
- Virs troposfēras līdz 55 km augstumam no planētas virsmas atrodas stratosfēra, kur temperatūra ir no –50 °C līdz –60 °C. Šeit ir maksimālā ozona koncentrācija. Līdz apmēram 30 km augstumam var pacelties stratostati.
- 55 – 80 km augstumā plešas mezosfēra. Šeit ir ievērojami siltāks: gaisa temperatūra sasniedz +20 °C. Mezosfēras augšējās robežas tuvumā kļūst vēsāks. Mezosfērā nonāk meteorītu iztvaikošanas produkti. Šajā slānī veidojas sudrabortie mākoņi.
- Virs mezosfēras apmēram līdz 1000 km lielam augstumam izvietojusies jonosfēra (termosfēra), kur gaiss ir ļoti retināts un stipri elektrizēts. Jonosfērā veidojas polārblāzma.
- Pašu augstāko atmosfēras slāni līdz apmēram 2000 km augstumam aizņem eksosfēra. Tā vēl ir maz izpētīta. No šā slāņa ātrākās atmosfēras daļiņas aizkļūst pasaules telpā. Lādēto daļiņu nonākšana Zemes atmosfērā polārblāzmas rajonos palielina jonosfēras elektrovadāmību. Tā iespaidā apmēram 100 km augstumā plūst strāvas, kuru stiprums sasniedz desmitiem tūkstošu ampēru. Šīs strāvas maina Zemes magnētisko lauku, bet tas savukārt iespaido Zemes dabu un cilvēku veselību.



Zemes atmosfēras struktūra

Polārblāzmas spektra pētīšanu 1869. gadā uzsāka zviedru fiziķis Anderss Angstrēms. Vēlāk – 1924. gadā – angļu pētnieki Dž. Maklenans un G. Šrams pierādīja, ka zaļo līniju 557,7 nm izstaro atomārais skābeklis. Atomārais skābeklis izstaro arī sarkanās dubleta



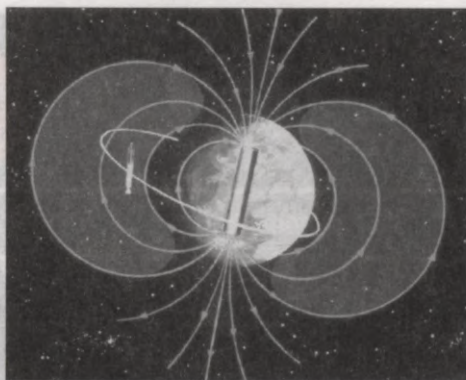
Polārblāzmas spektrs

630 nm un 636,4 nm līnijas. Šo starojumu novēro 200 – 400 km augstumā un tam atbilst atomu metastabilie stāvokļi, kuru dzīves laiki ir 0,74 s un 110 s. Šā iemesla dēļ šīs līnijas nevar novērot laboratorijas apstākļos, jo tās tiek dzēstas daļiņu sadursmēs. Sākot ar 20. gadsimta 50. gadiem, ir pētīts polārblāzmas spektrs ultravioletajā un infrasarkanajā rajonā, kur konstatēts neitrālu un jonizētu slāpekļa un skābekļa molekulu starojums. Jonizēta slāpekļa līnija 391,4 nm līdzās līnijai 557,7 nm ir visspožākās līnijas polārblāzmas spektrā, kas arī nosaka tās krāsu.

Novēro divu tipu polārblāzmas: elektronu un protonu. Pirmās izraisa elektronu plūsma, tām ir labi izteikta struktūra: loki, stari, joslas. Protonu izraisītai polārblāzmai parasti ir difūzu plankumu forma. Polārblāzmas norise ir visai komplicēta, bet pastāv arī vienkāršots skaidrojums.

Saules vēja atnestā elektronu plūsma sasniedz Zemes magnētisko lauku. Elektronu plūsmas blīvums ir robežās no $10^9 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ līdz $10^{11} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Ģeomagnētiskais lauks uztver elektronus, kas pēc tam pa spirālveida trajektorijām kustas ap magnētiskajām spēka līnijām. Polu tuvumā magnētiskās spēka līnijas sablīvējas. Tādēļ, nonākot apmēram 100 km augstumā, kur magnētiskā lauka intensitāte ir pietiekami liela, elektroni atstarojas atpakaļ atmosfēras augšējos slāņos un uzsāk kustību ap magnētiskajām spēka līnijām pretējā pola virzienā. Tā kā elektronu enerģijas ir lielas, tad tie savā ceļā ierosina un jonizē gaisa molekulas. Katrs mirdzošais polārblāzmas stars ir elektronu lavīnas, kas pārvietojas magnētiskā spēka līniju virzienā, fluorescējošas pēdas. Rekombinējot jonizēta slāpekļa molekulām, izspīd violetas un zilas spektra joslas, bet ierosinātas slāpekļa molekulas fluorescē sarkanā gaismā. Ierosinātie skābekļa atomi izstaro zaļu 557,7 nm un sarkanu 630 nm līniju. Intensīvākās ir slāpekļa zilās joslas un skābekļa zaļā līnija. Tādēļ polārblāzma mirdz zili zaļā tonī. Skābekļa sarkanā līnija ir vāja, jo ierosinātā stāvokļa $^1\text{D}_2$ dzīves laikā, kas ir 110 s, var notikt šā līmeņa dzēšana.

Protonu plūsma, kas izraisa polārblāzmas, ir ar kārtu $10^8 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Viens protons atkarībā no tā enerģijas var izraisīt vairāku fotonu emisiju, notiekot sadursmēm ar molekulām. Protonu enerģija var būt robežās no 1 līdz 100 KeV. Šo protonu avots ir Saules vējš. Mirdzuma maksimums veidojas 100 – 130 km augstumā, un mirdzošā slāņa vertikālais biezums ir 20 – 60 km. Protonu polarblāzmās novēro Balmera sērijas H_α līniju. Šīs līnijas intensitāte var mainīties atkarībā no protonu enerģijas un plūsmas blīvuma.



Zemes magnētiskais lauks

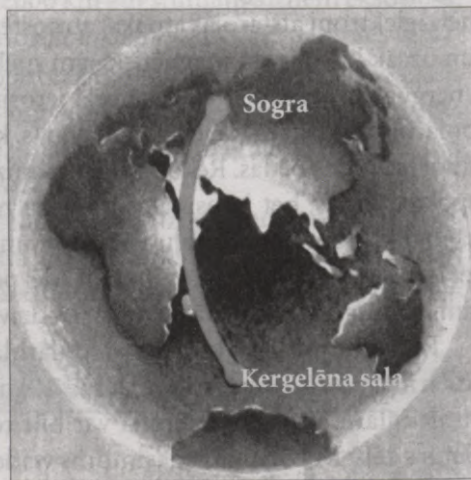


Elektroni pa spirālveida trajektorijām kustas ap magnētiskajām spēka līnijām

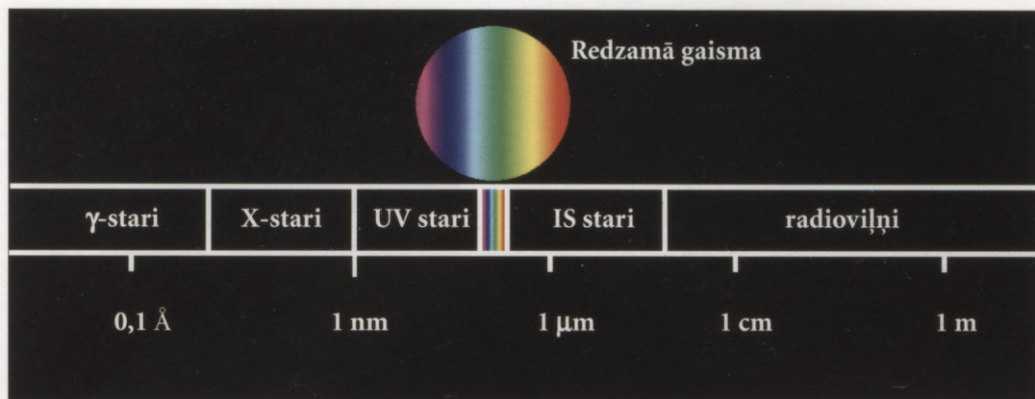
Protonu izraisītai fluorescencēi nav izteiktas telpiskas struktūras, tā novērojama difūzu plankumu veidā. Protonu masa ir daudz lielāka par elektronu masu, tāpēc protoni apraksta ap Zemes magnētiskajām līnijām trajektorijas, kuru rādiusi ir 40 – 50 reizi lielāki par elektronu trajektoriju rādiusiem. Protonu trajektorijas ir mazāk saistītas ar Zemes magnētiskajām līnijām. Turklāt protons var uztvert elektronu un kļūt par ūdeņraža atomu, kas vispār nepakļaujas magnētiskajam laukam. Sadursmē ar kādu daļiņu ūdeņraža atoms var jonizēties un atkal pārvērsties protonā. Ejot cauri Zemes atmosfērai, protons var vairākkārt atgūt un zaudēt elektronu. Tādējādi protons ievērojami attālināsies no sākotnējās spēka līnijas. Tas arī var būt par iemeslu, ka protonu radītai polārblāzmai ir neizteikta difūza forma. Protons, kurš uztvēris elektronu, var nokļūt ierosinātā stāvoklī. Pārejot pamatstāvoklī, tas izstaro ūdeņraža spektru. Intensīvākā ir sarkanā 656,3 nm līnija. Tādēļ protonu polārblāzma mirdz sarkanīgā tonī. Polārblāzmas mainību var izskaidrot ar Zemes magnētiskā lauka izmaiņām Saules vēja iespaidā. Taču ir virkne jautājumu, kas vēl jānoskaidro. Kaut vai zuzēšana un sprakšķēšana, kas dažkārt pavada polārblāzmu.

Novērojumi, kas veikti no pilotējamiem kosmosa kuģiem un orbitālām stacijām, dod bagātīgu informāciju par polārblāzmu, novērojot to no iekšienes. “Salūta – 6” ekspedīcijas laikā 1981. gada 12. aprīlī V. Kovaļenko, atrodoties orbītā dienvidu puslodē stipras magnētiskās vētras laikā, rakstīja: “Ļoti daudz zilas gaismas. Redzam zilus starus. Lūk, uzšaujas zils stars, lūk, uzšaujas – sarkans. Ir arī zili zaļš stabs. Krāsu rotaļa: pa kreisi no Suņa zvaigznāja sarkans stabs, zaļgani zils mirdzums, pa labi no tā virzienā uz Dienvidu Krustu – zils stabs.”

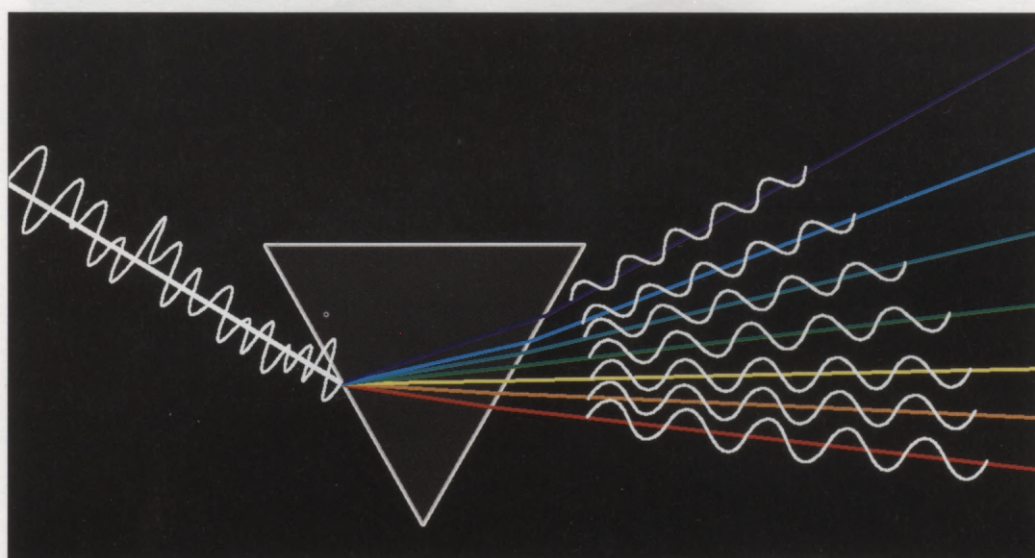
Protonu, kuru enerģijas sasniedz 10 – 100 KeV, nokļūšana atmosfērā izraisa Balmera sērijas līniju parādīšanos polārblāzmas spektrā, ko 1939. gadā Norvēģijā novēroja L. Vegards. Ūdeņraža līnijas ir ievērojami paplašinātas Doplera efekta dēļ un, novērojot zenīta virzienā, pārvietotas uz īso viļņu pusi. Ūdeņraža līniju Doplera pārbīde pierāda, ka polārblāzmu ierosina ātras lādētas daļiņas, kas Zemes atmosfērā nonāk no kosmiskās telpas. Novērota arī polārblāzmas pastiprināšanās pēc intensīviem hromosfēras uzliesmojumiem uz Saules. Ir realizēti eksperimenti, lai mākslīgi izraisītu polārblāzmu. Šādu eksperimentu 1969. gadā veica ASV, 1973. gadā PSRS un 1975. gadā PSRS kopā ar Franciju, kura laikā no raķetes dažū simtu kilometru augstumā atmosfērā inžektēja augstas enerģijas elektronu kūli. Šajā eksperimentā ar nosaukumu “Araks” (nosaukums veidots no franču nosaukuma pirmajiem burtiem, kas nozīmē: Kergelēna – Sogras mākslīgā polārblāzma) tika izvēlēti divi punkti, kas atrodas uz vienas un tās pašas



Mākslīgās polārblāzmas izraisīšanas eksperiments



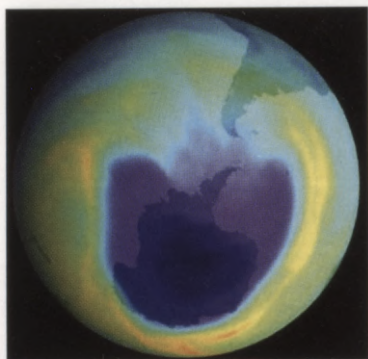
Elektromagnētisko viļņu skala



Prizma, sadalot balto gaismu krāsu gaismās, veic operāciju, ko matemātikā sauc par Furjē analīzi



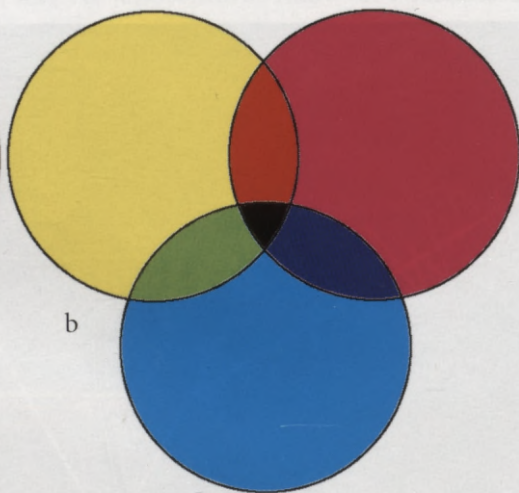
Spektu veidi: a – nepārtrauktais spektrs, b – emisijas spektrs, c – absorbcijas spektrs



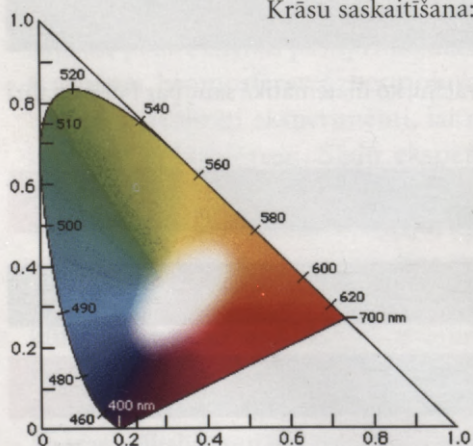
Attēlā dots 1999. gada rudenī reģistrētais ozona sadalījums atmosfērā. Zema ozona līmeņa rajoni nosacīti ietonēti zilā krāsā



Krāsu aplī pretējās pusēs papildkrāsas: sarkana–debeszila, zaļa–purpura, zila–dzeltēna



Krāsu saskaitīšana: a – aditīvā, b – subtraktīvā



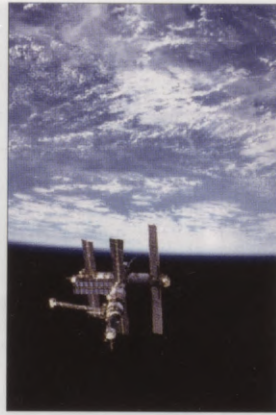
Krāsu grafiks starptautiskajā kolorimetriskajā sistēmā XYZ



Versaļas fotogrāfija, ko 1890. gadā ieguva G. Lipmanis, izmantojot gaismas interferenci



Klaids Tombo 1995. gadā līdzās 9 collu teleskopam, kurš 1927. gadā izveidots no nolietotu mehānismu detaļām
Kelijas Beati foto



Zemes fotogrāfija, kas iegūta no kosmiskā kuģa "Apollo 17" 1972. gadā



Zemes lēkts uz Mēness. Uzņēmums izdarīts no kosmiskā kuģa "Apollo 8"

2001. gada 23. martā savu 15 gadus ilgo darbību, veicot 86 331 apli ap Zemi, beidza krievu kosmiskā stacija "Mir"

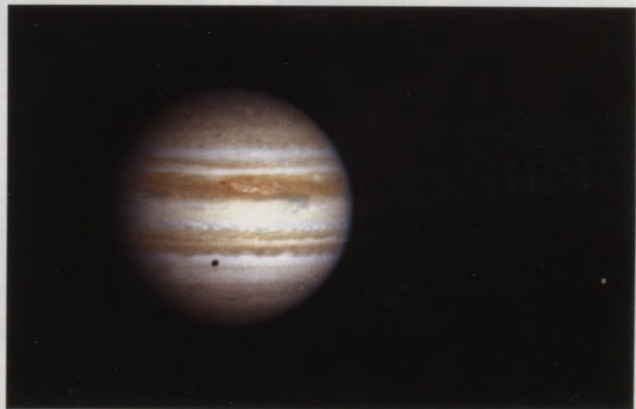
Uz Mēness 1971. gada februārī "Apollo 14" programmas ietvaros



Edvīns Oldrins uz Mēness
1969. gada 20. jūlijā



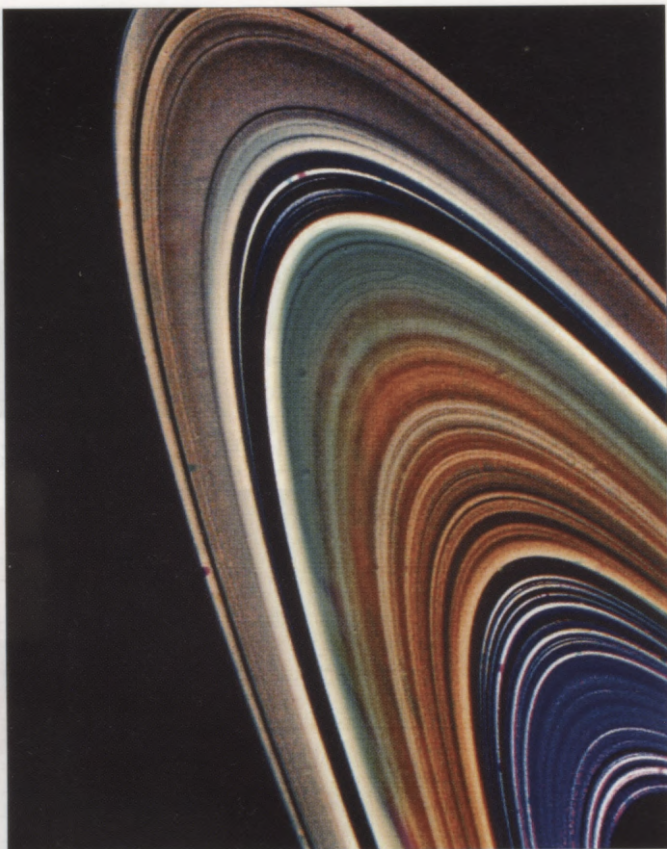
Jupitera gredzeni NASA foto



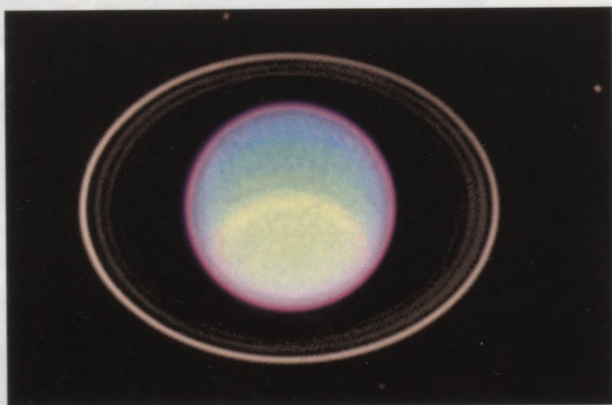
Jupitera attēls veidots no uzņēmumiem zilā, zaļā un sarkanā spektra daļā, tāpēc planētas krāsa ir tuva tai, kādu to novēro uz Zemes izvietoto teleskopu attēlos. Melnais plankums ir pavadoņa Eiropas ēna. Uzņēmums izdarīts no stacijas "Cassini" 2000. gada 4. oktobrī



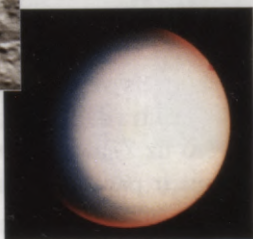
Zeme, lūkojoties no Mēness.
Uzņēmums veikts 1994. gada
13. martā no kosmiskās
stacijas "Clementine"



Saturna gredzeni



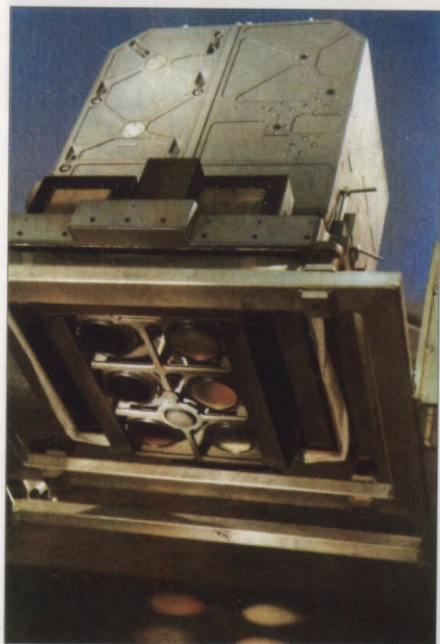
Urāns 1996. gada aprīlī
HST foto



Pa kreisi: Neptūns
"Voyager-2" foto



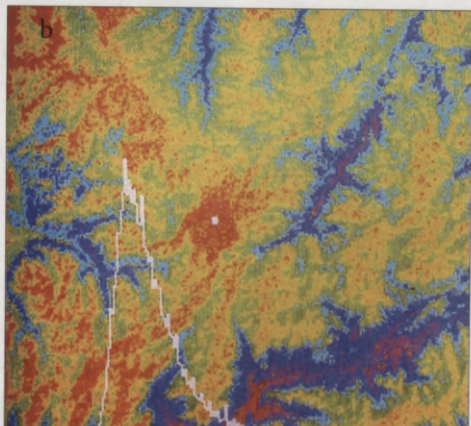
Gatavais krāsu attēls filmā veidojas no trim atsevišķiem krāsdalītiem (dzeltena, purpura un debeszila) attēliem



Firmas "Karl Zeiss" izgatavotā spektra zonālā kamera MKF6 darbojas sešos spektra rajonos, no kuriem divi atrodas IS diapazonā



Baikāla ezera rajona spektra zonālais uzņēmums nosacītās krāsās, kas izdarīts 1976. gadā no stacijas "Sojuz 22"



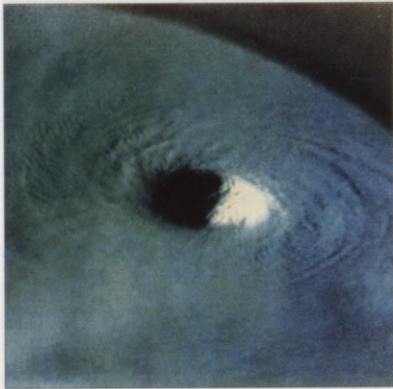
Pielbrusa rajona aerofotouzņēmums: a – parastais krāsu attēls, b – spektra zonālais attēls. Zaļā krāsā iezīmētas lavīnbīstamās mitra sniega nogāzes



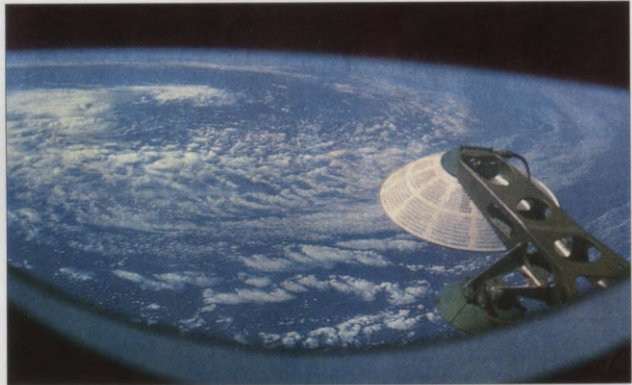
Firma "Schott", izmantojot luminiscences efektu, demonstrē ugunsizturīgu stiklu, kurš neplaisā un nezaudē hermētiskumu augstā temperatūrā



Dirižabļa "Hindenburgs" katastrofa 1937. gadā. Dirižablis bija pildīts ar ūdeņradi, kas arī bija katastrofas cēlonis. Uzņēmums iegūts pēc Diko de Orona metodes



Taifūna "acs"



Virš okeāna veidojas ciklons



Pa kreisi: Mēness aptumsuma uzņēmums 2000. gada 20. janvārī 4 stundu ilgā ekspozīcijā. Arī pilna aptumsuma brīdī Mēness ceļš ir sārti iezīmēts uz dūmakainā debess fona, pateicoties gaismas izkļīdei Zemes atmosfērā

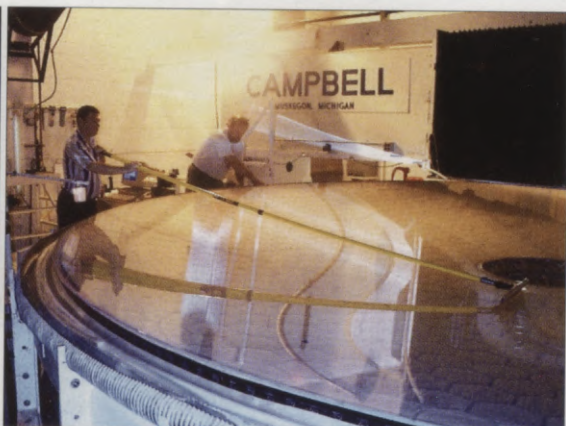
Džo Ormana foto

Pa labi: 1999. gada 11. augusta Saules aptumsuma uzņēmums no kosmiskās stacijas "Mir". Mēness ēna pa Zemes virsmu pārvietojas ar ātrumu 2000 km/h

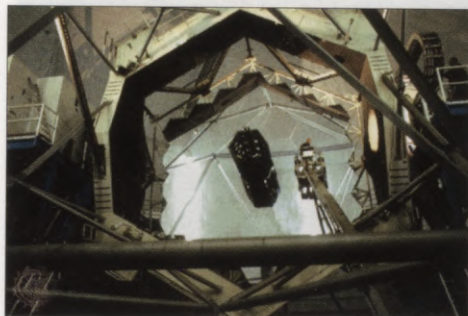




Keka interferometrs (Keks I un Keks II)
Maunakeā Havaju salās



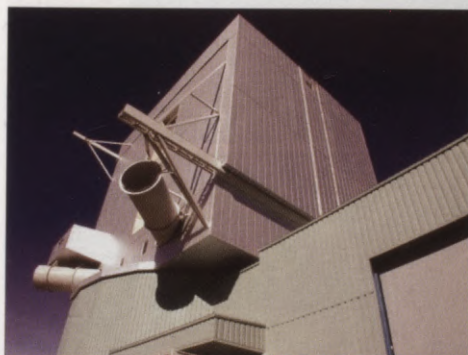
Teleskopa "Magellan I" galvenā spoguļa (diametrs
6,5 m) pulēšanas nobeiguma etaps. *P. Vehingema foto*



Keka teleskopa saliktais spogulis sastāv no 36
sešstūru segmentiem. Spoguļa diametrs 10 m



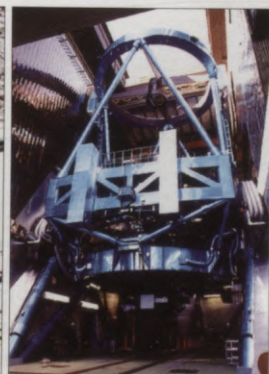
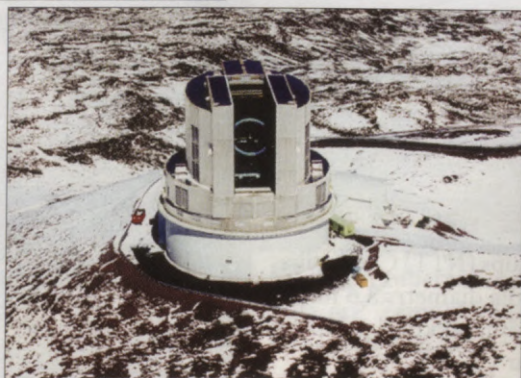
Eiropas Dienvidu observatorijas Čilē Ļoti lielais
teleskops sastāv no četriem teleskopiem, kuru
spoguļu diametrs ir 8,2 m

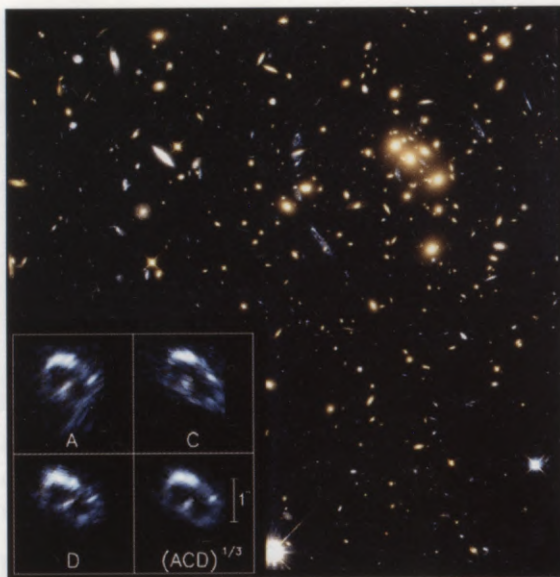


Liels binokulārais
teleskops Arizonā.
Divi 8,4 m diametra
spoguļi

J. M. Hilla foto

Pa labi: Japānas
"Subaru" teleskopa
(Maunakea, Havaju
salās) kopskats un
instruments



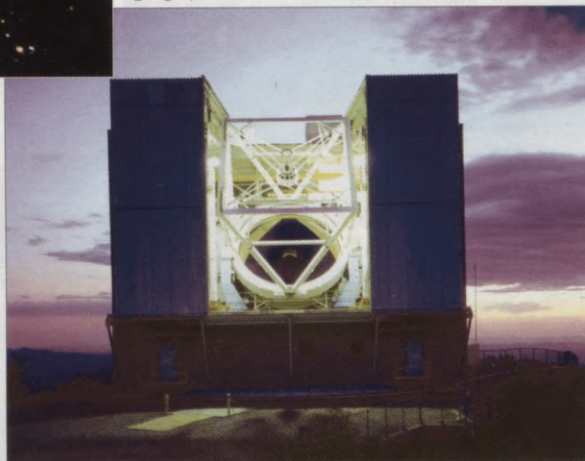


Gravitācijas lēca galaktiku kopā CL 0024+1654 Zivju zvaigznājā. Koncentriskie zilie loki ir mirāža, ko rada kopas gravitācija, izkropļojot tālu aiz tās esošās vienuļās galaktikas attēlu. Galaktikas modelis redzams stūrī

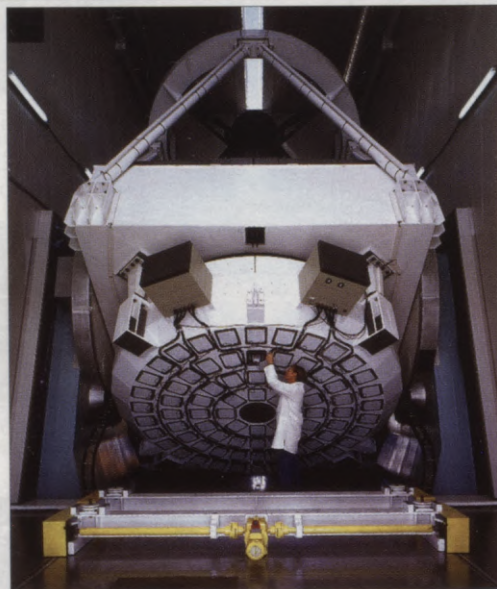


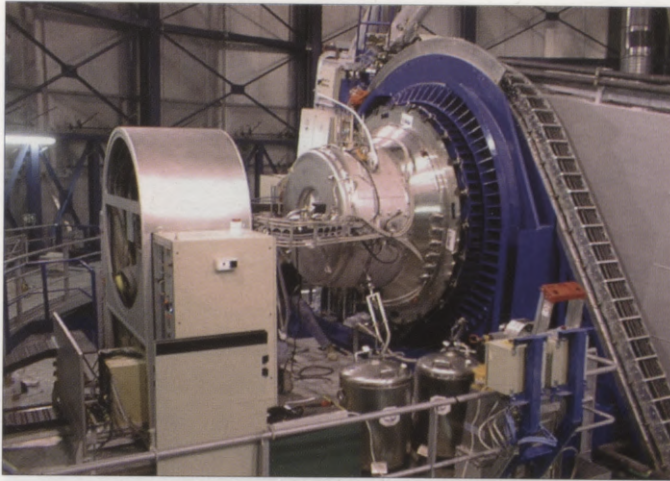
Palomāras kalna observatorijas 5 m Heila teleskops

Apakšā: Hopkinsa observatorijas Daudzspoguļu teleskops (DST). 1998. gadā sešus 1,6 m spoguļus aizvietoja ar vienu 6,5 m spoguļi

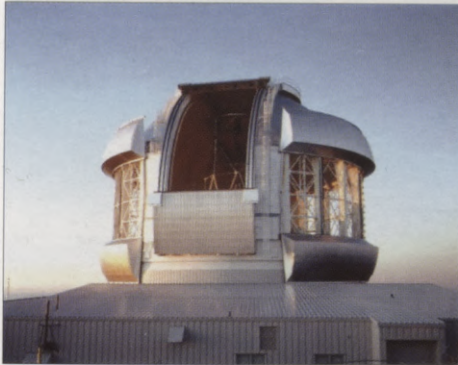


Jaunas tehnoloģijas teleskops (NTT) Čilē Lasiljas observatorijā. NTT spoguļa diametrs 3,6 m. Pa labi: NTT adaptīvā sistēma, ar kuras palīdzību var mainīt spoguļa formu





Ļoti lielā teleskopa IS staru spektrometrs un reģistrēšanas iekārta



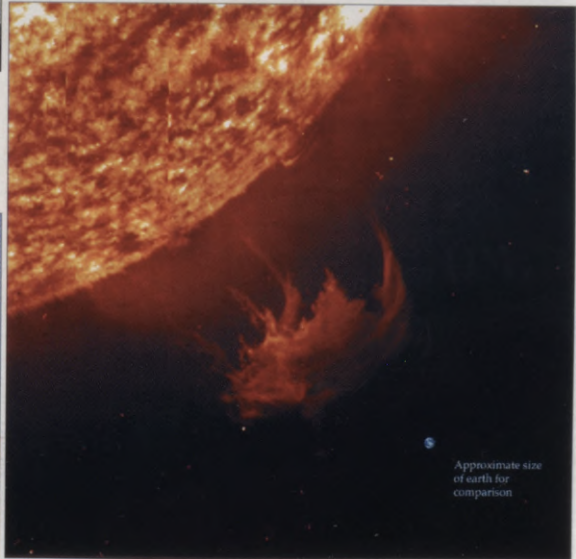
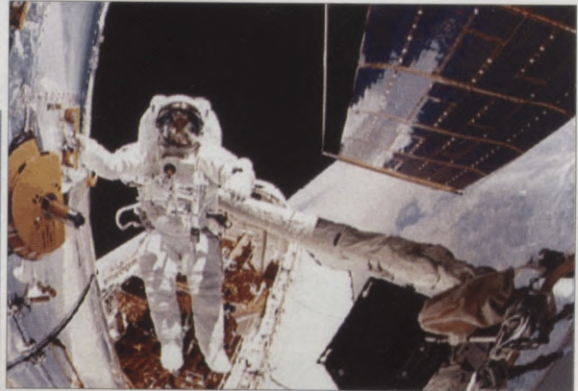
Džemini Ziemeļu observatorija Maunakeā, Havaju salās. Spoguļa diametrs 8 m
N. Krouforda foto



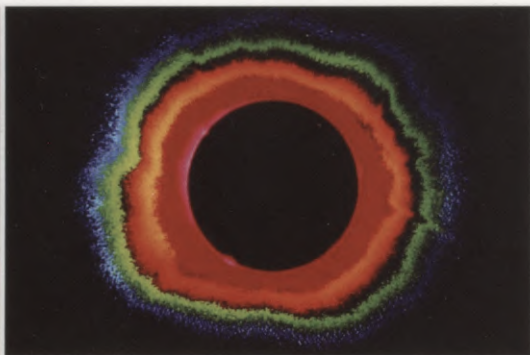
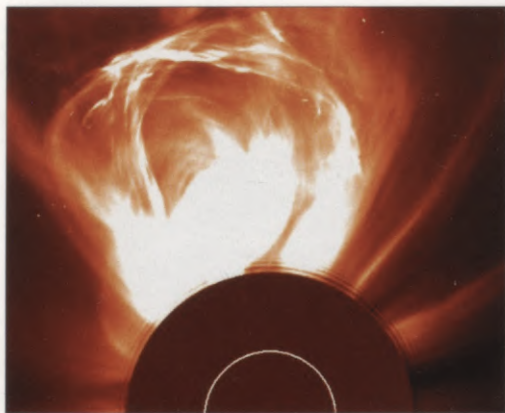
Galvenā spoguļa piegāde Džemini Dienvidu observatorijai Čilē. Spoguļa diametrs 8 m



Habla kosmiskais teleskops un tā remonts orbītā (apakšā), kas bija viens no sarežģītākajiem "Shuttle Endeavour" pasākumiem



Saules protuberances izmēru novērtēšanai attēlā dota arī Zeme. Uzņēmums izdarīts hēlija jona līnijas 304 Å gaismā
NASA foto



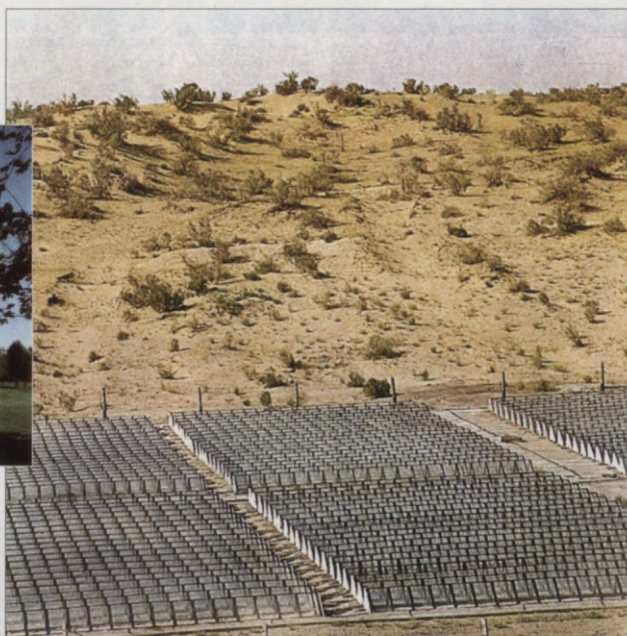
Saules koronas uzņēmums nosacītās krāsās

F. Espenoka foto

Saules koronas izvirdums. Magnētiskais lauks uzvirto plazmu līdz divu miljonu kilometru attālumam no Saules virsmas



Saules māja



Karakuma tuksneša sāļo pazemes ūdeņu Saules atsāļotājs apgādā ar saldūdeni 2000 aitu

Pa kreisi: polārblāzma pirms vētras

Dž. Kartisa foto

Pa labi: Jupitera polārblāzma

J. Klarkes foto





Vainags ap Mēnesi. Miglainā laikā vainagu var novērot arī ap mākslīgiem gaismas avotiem (ielu apgaismes ķermeņiem). Augšā pa kreisi: mākoņu klātiene vērs saulrietu krāsainu.

Pa kreisi: varavīksne. Papildvaravīksne atšķirībā no galvenās ir vājāka un krāsu secība tajā ir pretēja. Debesis starp abām varavīksnēm ir nedaudz tumšākas (Aleksandra josla) *Visi att. – autora foto*



Viltus Saules. Dž. Ormana foto



Halo ap Mēnesi. J. K. Kasado foto

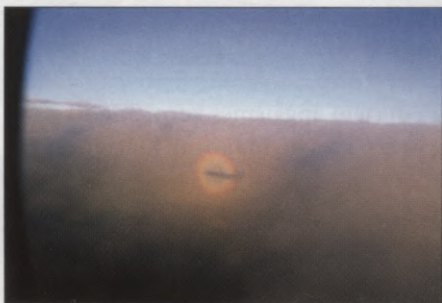


Pateicoties aerosolai izkļiedei, debesis horizonta tuvumā ir bāli zilā krāsā *Autora foto*



Līnijveida zibens var rasties, ja notiek liela apjoma lādiņu telpiska nošķiršana. Šādi apstākļi veidojas negaisa mākoņos, viesuļos, vulkānu izvirdumos un kollādiņu eksplozijās

Pa kreisi: lodveida zibens



Glorija kanjonā *K. Grobla foto*



Halo *M. Kadena foto*



Žaka Pikāra batiskafs "Trieste" pie Marianu dziļvagas 1960. gadā. 23. janvārī "Trieste" sasniedza dziļvagas dibenu 10 916 m dziļumā

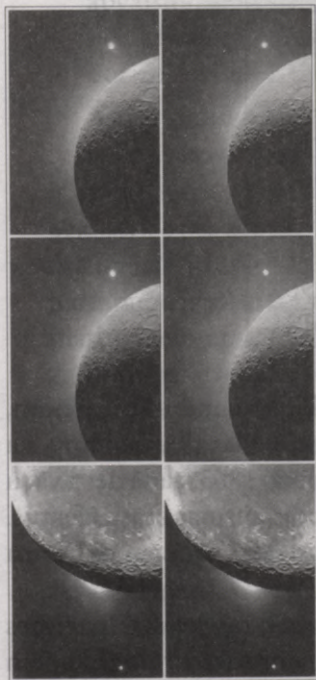
magnētiskās spēka līnijas. Izvēle krita uz Sogras ciemu Arhangeļskas apgabalā un Kergelēna salu Indijas okeānā. Ar raķeti tika pacelts neliels daļiņu paātrinātājs, kas noteiktā augstumā "izsmidzināja" elektronus. Tie, izplatoties magnētisko spēka līniju virzienā un attālinoties no Zemes virsmas līdz 20 000 km augstumam virs ekvatora, nonāca ziemeļu puslodē un izraisīja polārblāzmu virs Sogras.

Mākslīgās polārblāzmas eksperimenti ļauj pētīt Zemes magnētiskā lauka struktūru un jonosfēras procesu ietekmi uz laika apstākļiem. Šim nolūkam izmanto arī bārija jonu inžekciju. Bārija joni ierosinās Saules gaismā un mirdz spožā aveņsarkanā krāsā. Interesanti dati iegūti pēdējos gados, izmantojot Habla kosmisko teleskopu. Ar tā palīdzību lielākajam Jupitera pavadoņim Ganimēdam ir konstatēta plāna skābekli saturoša atmosfēra. Novērojumi liecina, ka uz Ganimēda notiek polārblāzmas. Tās novērotas arī Jupitera atmosfērā.

Polārblāzmu novēro polāros vai arī tiem tuvos rajonos, turpretī zodiakālā gaisma novērojama galvenokārt ekliptikas tuvumā.



Jonizēta bārija (Ba) mākonis



Saules sistēmas centrālo daļu aizpilda milzīgs putekļu mākonis. Tā veidošanā piedalās komētas un asteroīdi. Putekļu mākoņa izkliedēto gaismu (zodiakālo gaismu) var novērot uz tumša debess fona pirms saullēkta vai arī pēc saulrieta. Attēlā redzama zodiakālā gaisma un Heila – Bopa komēta

Ričarda Vainskouta foto (*Richard Waincoat*)

Pa kreisi: zodiakālo gaismu labi novērot kosmiskajā telpā, kur to netraucē atmosfēras izkliede. Attēls iegūts 1994. gadā no kosmiskā kuģa "Klementīne" Mēness ēnā

NASA foto

Zodiakālā gaisma rodas, Saules gaismai izkliedējoties putekļos, kas aizpilda starpplanētu telpu zodiakālās plaknes tuvumā. Polārblāzma un zodiakālā gaisma ir saistīta ar daļiņām, kas atrodas ārpus Zemes atmosfēras vai arī ienāk atmosfērā no kosmiskās telpas, bet krēsla, varavīksne, halo, debesjuma krāsa un polarizācija, mirāžas u. c. optiskas parādības ir saistītas ar Saules elektromagnētiskā starojuma un atmosfēras mijiedarbību.

4. 10. Optiskās parādības atmosfērā

Atmosfēras dūmaka. Releja izkliedes likums izskaidro bieži novērojamu parādību – dūmaku, kas kā zilgas krāsas plīvurs aizsedz tālus objektus: kalnus, mežus, celtnes. Jo tālāk atrodas objekts, jo tas kļūst gaišāks un grūtāk saskatāms. Dūmaka akcentē attālumu starpību starp objektiem. Piemēram, tuva meža krāsa ir piesātinātāka, tas izskatās tumšāks. Turpretī tāls mežs kļūst bāls, tā kontūras ir mazāk izteiktas. Pateicoties dūmakai, var labi atšķirt vietas reljefu. Šo efektu dažkārt dēvē par gaisa perspektīvu.

Atmosfērā notiek gaismas izkliede. Attālumā x gaismas plūsma samazinās saskaņā ar Lamberta likumu:

$$E_x = E_0 \exp(-\beta x),$$

kur β – izkliedes rādītājs, kas var mainīties plašās robežās. Molekulārai izkliedei normālos apstākļos $\beta = 0,012 \text{ km}^{-1}$ viļņu garumam $0,55 \mu\text{m}$, bet tam pašam viļņu garumam blīvā miglā $\beta \cong 40 \text{ km}^{-1}$. Tad uz 1 km garu ceļa gabalū $E_x/E_0 \cong 10^{-17}$.

Gaismas izkliedes dēļ atmosfērā samazinās kontrasts, kas attālumā R ir šāds:

$$K_R = K_0 \exp(-\beta R).$$

Iespējams aprēķināt redzamības meteoroloģisko attālumu R_m kontrasta sliekšnim $\epsilon = 0,02$.

Klimatiskie apstākļi	R_m , km	β , km^{-1}
Blīva migla	0,005	78,2
Parasta migla	0,02	19,6
Viegla migla	0,5	7,82
Neliela migla	1	3,91
Dūmaka	2	1,96
Viegla dūmaka	4	0,954
Skaidrs	10	0,391
Ļoti skaidrs	20	0,196
Tīrs gaiss	277	0,014

Krēsla. Krēslas problēma ir piesaistījusi daudzu zinātnieku uzmanību (piemēram, Bernulli, Mopertuī, Dalambēra, Klauziusa u. c.). Mūsdienīgu krēslas skaidrojumu, ka krēsla ir Saules gaismas izkliede un vājināšanās Zemes atmosfērā, 1863. gadā deva vācu meteorologs Vilhelms Becolds (1837 – 1907). Viņš arī izskaidroja ausmas krāsu efektus. Becolds ar savu gaismas izkliedes skaidrojumu par 6 gadiem apsteidza pazīstamos Džona Tindala izkliedes pētījumus.

Viens no atmosfēras pētījumu mērķiem bija kādas noteiktas krēslas pazīmes (piemēram, purpurkrāsas gaismas) saistīšana ar gaidāmajiem meteoroloģiskajiem

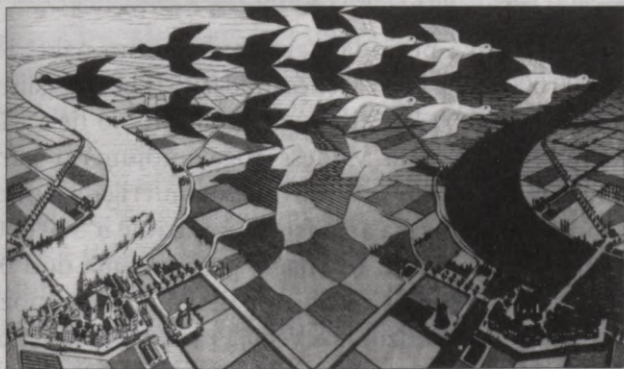
apstākļiem. Taču grūtības kvantitatīvas teorijas izveidē veicināja tīri empīrisku pieeju atmosfēras optikai. Pat Releja un Mī izkliedes teorijas, kas deva spēcīgu impulsu atmosfēras optikas attīstībai dienas apstākļos, ilgi neiespaidoja krēslas pazīmju izmantošanu laika prognozēm. Tikai 20. gadsimta 20. – 30. gados, uzkrājoties novērojumu datiem, sākās krēslas parādības likumsakarību pētīšana. Interese par atmosfēras uzbūves un krēslas parādību saistību radās arī sakarā ar aviācijas, raķešu tehnikas, radio, televīzijas, ģeofizikas un astronomijas tālāku attīstību, kam bija nepieciešamas precīzas ziņas par Zemes atmosfēru. Krēslas parādību izmantošanu atmosfēras augšējo slāņu optiskai zondēšanai 1923. gadā pirmais pēc Alhazena ieteica padomju astronoms Vasilijs Fesenkovs (1889 – 1972). Viņš nodarbojās arī ar zodiakālās gaismas fotometrēšanu.

Krēslas ilgumu nosaka leņķis starp Saules stāvokli pie debesjuma un horizontu. Tas atkarīgs no vietas ģeogrāfiskā platuma. Jo tuvāk ekvatoram, jo mazāks krēslas ilgums. Polārajos apvidos krēsla var ilgt vairākas nedēļas. Praktiskiem nolūkiem krēslas iestāšanās laiku daļa trīs periodos.

- Civilā krēsla sākās ar Saules norietu un beidzas, kad Saule atrodas ne vairāk kā 7° zem horizonta. Saules redzamās lēkšanas vai norietēšanas momentā Saules centrs atrodas ap $0^{\circ} 50'$ zem redzamā horizonta. Šajā gaišākā krēslas perioda sākumā (vai beigās – pirms Saules lēkta) apgaismojums vēl ir tik liels, lai atklātās vietās varētu veikt praktiski visus darbus, tajā skaitā lasīt un rakstīt. Telpās jāieslēdz mākslīgais apgaismojums. Sadzīvē iestājas vakars. Civilās krēslas beigu periodā pat atklātās vietās vairs nevar lasīt. Pie debesīm iemirdzas spožākās zvaigznes.
- Navigācijas jeb nautiskā krēsla. Saule atrodas līdz 12° zem horizonta. Apvidus apgaismojums pasliktinās, bet kuģi, kuri atrodas krasta tuvumā, vēl var orientēties pēc krastā esošiem objektiem. Šīs krēslas beigās stūrmaņi var atšķirt vairs tikai horizonta līniju. Šajā laikā jābūt ieslēgtām signālugunīm.
- Astronomiskā krēsla. Saule noslīd līdz 18° zem horizonta. Zemes virsma jau ir tumšā, debesīs novērojama blāzma, kas traucē vāju objektu astronomisku novērošanu.

Momenti, kad iesākas un izbeidzas šie trīs krēslas periodi, ir orientējoši, jo apgaismojums un redzamība ir atkarīga arī no klimatiskajiem apstākļiem. Dažos gadījumos atmosfēras augšējo slāņu piesārņojums (meteorītu un vulkāniskās darbības rezultāts) palielina krēslas apgaismojuma intensitāti un ilgumu.

Dienas un nakts nomaiņa savas regularitātes dēļ atstāj lielu iespaidu uz organismu uzbūvi,



K. Ešera glezna "Diena un nakts"

dzīvesveidu un bioloģiskajiem procesiem. Divas reizes diennaktī notiek pārsteidzoša mēroga – apmēram miljards reižu – apgaismojuma izmaiņa. Tas iespaido ne tikai bioloģiskos procesus, bet arī Zemes virsmas un atmosfēras enerģētisko bilanci. Zemes atmosfēra, izkliedējot gaismu, mīkstina šo pāreju, izvēršot to ilgākā laika intervālā. Ja uz Zemi palūkojas no kosmosa, tad ir redzama plata krāsaina un krēslaina pusēnas josla, kas aizņem 20 – 25% no Zemes virsmas. 42 – 45% Zemes virsmas vienā pusē valda diena, otrā pusē apmēram 33 – 35% liela platība no Zemes virsmas gremdēta tumsā. Aptuveni 20 – 25% laika cilvēce dzīvo un darbojas krēslas apstākļos. Minētajiem apstākļiem lieliski piemērojušies acs.

Dabā sastopamās apgaismojuma vērtības mainās plašās robežās. Tiešie Saules stari dod ap 100 000 lx lielu apgaismojumu. Uz atmosfēras augšējās robežas Saules apgaismojums ir 135 000 lx. Nonākot līdz Zemes virsmai, tas var samazināties līdz 100 000 lx. Pārējais izkliedējas Zemes atmosfērā.



Daļa izkliedētās gaismas atstarojas atpakaļ kosmiskajā telpā, daļa veido Zemes apgaismojumu. Ja Saule ir augstu un daļa debess klāta ar gubu mākoņiem, apgaismojums var sasniegt pat 150 000 lx un vairāk. Skaidrā laikā Saules rietēšanas brīdī Zemes virsmas apgaismojums ir apmēram 1000 lx. Civilās krēslas beigās apgaismojums samazinās līdz 1 – 4 lx, navigācijas krēslas beigās līdz 0,006 lx, bet astronomiskās krēslas beigās 10^{-4} – 10^{-5} lx. Tumsā acs vēl var atšķirt virsmu, kuras apgaismojums ir 10^{-6} lx. Precīzāk šo pāreju raksturo tabulas dati, kas atspoguļo horizontālas virsmas apgaismojumu pēc saulrieta, ja ir skaidras bezmākoņu debesis.

Skats uz Zemi no kosmosa naktī

Saules augstums, h_0^0	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-8	-11	-17
Apgaismojums, lx	400	250	113	40	13	4	1	0,1	0,01	0,001

Tāpat laika periodā starp saulrietu un nakts iestāšanos apgaismojums mainās 10 000 000 reižu. Pilns Mēness dod 0,25 lx lielu apgaismojumu. Mēness 1. un 3. ceturksnī dod 0,03 – 0,04 lx lielu apgaismojumu, jo liela Mēness virsmas daļa ir aizklāta ar kalnu ēnām. Jauna Mēness apgaismojums ir par 20% lielāks nekā veca Mēness apgaismojums, ko izskaidro nevienmērīgais kalnu sadalījums Mēness virsmā. No šejienes redzams, ka apgaismojums Saulē ir 500 000 reižu lielāks par apgaismojumu pilna Mēness naktī. Intensīva polārblāzma dod 0,1 – 0,2 lx lielu apgaismojumu. Salīdzināsim sveces radītu apgaismojumu ar spožas zvaigznes apgaismojumu. Lai svece spožums līdzinātos Vedēja zvaigznāja spožākās zvaigznes Kapellas spožumam, svece jāattālina līdz 900 m. Tā kā viena metra attālumā no sveces apgaismojums ir 1 lx, tad Kapella uz Zemes dod apgaismojumu, kas ir $1/900^2 = 1/810\,000$ lx.

Nakts debess spīdēšana. Nakts apstākļos Zemes virsmas apgaismošanā piedalās vairāki gaismas avoti. Pats nozīmīgākais starp tiem ir Mēness. Analogiski kā Saules konstanti definē arī Mēness konstanti. Tā raksturo apgaismojumu, ko rada pilns Mēness uz atmosfēras augšējās robežas. Mēness konstante ir 0,34 lx. Maksimālais apgaismojums, ko dod pilns Mēness uz Zemes, kā jau minējām, ir 0,25 lx. Ja Mēness nav zenītā, tad tā radītais apgaismojums parasti nepārsniedz 0,1 lx.

Ilgu laiku uzskatīja, ka nākamā pēc nozīmīguma ir zvaigžņu gaisma. Tumšā skaidrā naktī redzamajā debesjuma pusē ar neapbruņotu aci var saredzēt un atšķirt ap 2000 zvaigžņu. Faktiskais zvaigžņu skaits mūsu Galaktikā ir daudz lielāks. Pirmais 18. gadsimta beigās saskaitīt zvaigznes mēģināja V. Heršels. Amerikāņu astronoms Saimons Ņūkombs (1835 – 1909) 1901. gadā centās novērtēt zvaigžņu radīto apgaismojumu. Tas izrādījās nepietiekams, lai izskaidrotu pilno apgaismojumu bezmēness naktī. 20. gadsimta 50. – 60. gados Hārvarda universitātē ar zvaigžņu skaitīšanu nodarbojās holandiešu astronoms B. J. Boks ar līdzstrādniekiem.

Visā debesjumā var saskaitīt 1620 zvaigznes, kas spožākas par 5. lieluma zvaigznēm. 4850 zvaigznes ir spožākas par 6. lieluma, bet $5 \cdot 10^8$ – spožākas par 18,8. lieluma zvaigznēm. Zvaigžņu skaits mūsu Galaktikā ir ap $3 \cdot 10^{10}$. Pētījumi rādīja, ka Zemes virsmas apgaismojumā galveno ieguldījumu dod tās zvaigznes, kas ar neapbruņotu aci nav saskatāmas, bet kuru skaits ir ļoti liels, t. i., 10. – 15. lieluma zvaigznes. Zvaigžņotās debess radītais apgaismojums ir apmēram $8 \cdot 10^{-4}$ lx.

Šeit jāatgādina Olbersa paradokss. Austriešu astronoms Henrihs Olberss (1758 – 1840) 1826. gadā rakstīja: “Ja visa telpa tiešām būtu aizpildīta ar saulēm un ja tās būtu izvietotas vienādos attālumos viena no otras un grupētos sistēmās, kas līdzīgas Piena Ceļam, tad to skaits būtu bezgalīgi liels un viss debesjums būtu tikpat spožs kā pati Saule, tā kā katrs redzes stars jebkurā virzienā noteikti sastaptu zvaigzni; tādā veidā katrs debess punkts sūta pie mums zvaigznes staru jeb, kas ir tas pats, saules gaismu.” Kā izskaidrot to, ka debesis tomēr naktī ir tumšas?

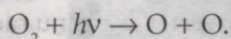
Pārlicenošāko Olbersa paradoksa skaidrojumu dod Habla atklājums, ka galaktiku attālināšanās ātruma un attāluma attiecība v/D ir konstants lielums. Jo tālākas ir galaktikas, jo lielāks to izklišanas ātrums. Tādējādi tālu objektu starojums Doplera efekta dēļ nokļūst spektra garo viļņu daļā vai vispār nenokļūst līdz mums, ja v tuvojas gaismas ātrumam c .

Ja zvaigžņu gaisma nodrošina mazāk par pusi no novērotā nakts apgaismojuma, tad rodas jautājums, kas rada pārējo apgaismojumu bezmēness naktī. Planētu radītais apgaismojums nav vērā ņemams. Vācu zinātnieks J. Viherts 1901. gadā Getingenē fotografēja nakts debess spektru. Viņš atklāja zaļu spektrālīniju, kas raksturīga polārblāzmai. 1909. gadā holandiešu zinātnieks L. Intema vēlreiz pārlicinājās, ka visu zvaigžņu gaisma nav pietiekama, lai izskaidrotu novēroto apgaismojumu. Balstoties uz Viherta atklājumu, viņš izteica hipotēzi, ka zaļo gaismu izstaro avots, kurš atrodas Zemes atmosfērā. Jautājums tika atrisināts 10 gadus vēlāk, kad 1919. gadā V. Slaifers darija zināmus savu pētījumu rezultātus.

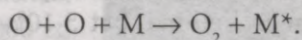
Slaifers kopš 1915. gada fotografēja Piena Ceļa spektru. Visās fotogrāfijās parādījās zaļā līnija, kuru novēro polārblāzmai. Slaifers savus pētījumus veica $35^{\circ}12'$ ziemeļu

platumā, kur polārblāzmu novēro ļoti reti – reizi vairākos gados. Zaļā līnija pastiprinājas uzņēmumos, kas izdarīti horizonta tuvumā. Pēc četrus gadus novērojumiem astronoms secināja, ka atmosfēra katru nakti izstaro gaismu, kas līdzīga polārblāzmas starojumam.

Atmosfēras nakts spīdēšana ir retinātu gāzu luminiscence 80 km līdz 1300 km augstumā. Tās spektrs ir visai sarežģīts. Redzamajā spektra daļā spožākā ir atomārā skābekļa zaļā 0,5577 μm spektrālīnija, vājākas ir 0,6300 μm un 0,6364 μm sarkanās līnijas. Novēro arī nātrija atoma, slāpekļa molekulas un slāpekļa dioksīda starojumu. Procesī, kuri izraisa atmosfēras starojumu, ir visai komplicēti. Kā vienu no iespējamiem šādiem procesiem var minēt Saules starojuma iespaidā atmosfēras augšējos slāņos notiekošo skābekļa disociāciju:



Maksimālā skābekļa atomu koncentrācija veidojas 80 – 100 km augstumā. Spiediens šādā augstumā ir ļoti mazs, un atomārais skābeklis var pastāvēt ilgu laiku. Atomu apvienošanās molekulā notiek galvenokārt trīskāršās sadursmēs starp diviem skābekļa atomiem un trešo daļiņu, kas var būt atmosfēras sastāvā esošs atoms vai molekula:



Simbols M* nozīmē, ka trešā daļiņa ir ierosinātā stāvoklī, pateicoties rekombinācijas procesa atbrīvotai enerģijai. Pārejot pamatstāvoklī, rodas starojums, kuru uztveram kā nakts debess spīdēšanu.

Rīta ausma un vakara blāzma. Ausma ir viena no krāsainākajām optiskajām parādībām atmosfērā, ko varam vērot, Saulei lecot, bet vakara blāzmu – Saulei rietot. Tuvojoties horizontam, Saule strauji zaudē savu spožumu un krāsu. No gaiši dzeltenas krāsas tā pāriet dzeltenā, oranžā un pie paša horizonta tumši sarkanā krāsā. Vienlaikus iekrāsojas arī debesjuma rietumu puse. Kad Saule jau tuvu horizontam, debesis ap Sauli kļūst zeltaini dzeltenas, zemāk oranžas, bet pie horizonta sarkanas. Mākoņu klātbūtne vērs šo ainu vēl daudzkrāsaināku. Saulei lecot, krāsu maiņas secība ir pretēja.

Kāpēc notiek šāda krāsu rotaļa? Senie grieķi uzskatīja, ka ausma iestājas, kad ausmas dieviete rožpirkste Ēosa auļo kaujas ratos, sludinot sava brāļa Saules dieva Hēlija parādīšanos. Savukārt tautas ticējumi pauž, ka pēc sarkana saulrieta sekos vējains un lietains laiks.

Pētījumi liecina, ka Saules gaismas izkļiedē krēslas periodā svarīga loma ir atmosfēras slānim 19 – 25 km augstumā, t. i., stratosfēras apakšējai daļai. Šajā augstumā atrodas samērā stabils aerosola slānis. Paraugos, ko 1958. gadā ar lidmašīnu un stratostatu palīdzību ieguva K. Junge, konstatēti sērskābes un tās sāļu pilieni. Šis atmosfēras slānis kopš tā laika nosaukts par Junges slāni. Junges slānis ir efektīvs gaismas izkļiedētājs, tādēļ iemantojis arī krēslas slāņa nosaukumu. Krēslas slāņa augšpusē gaismas izkļiede ir niecīga, pateicoties mazam gaisa blīvumam. Apakšējo slāņu izkļiede arī ir maza, jo līdz tiem krēslas apstākļos nonāk maz gaismas.

Vēlāk noskaidrojās, ka sēra savienojumi Junges slānī rodas ķīmiskās reakcijās, to skaitā reakcijā starp sēra dioksīdu un ozonu. Sēra gāze stratosfērā nonāk vulkānu darbības dēļ, bet ozona klātbūtne nodrošina Saules starojumu. Aerosola daļiņu izmēri ir 0,1 – 1 μm. Krāšņi saulrieti un saullēkti novēroti tieši pēc spēcīgiem vulkānu izvirdumiem.

Apgaismojums uz citām planētām. Arī uz Saules sistēmas planētām apgaismojums mainās visai plašās robežās. Tabulā dotas apgaismojuma vērtības, salīdzinot ar Saules konstanti E_0 vai Saules augstumu h_0 uz Zemes.

Planēta	Attālums no Saules, milj. km	Apgaismojums, lx	Salīdz. ar apgaismojumu uz Zemes
Merkurs	57,87	900 000	$6,7E_0$
Venera	108,14	260 000	$1,9E_0$
Zeme	149,50	135 000	$1,0E_0$
Marss	227,79	58 000	$h_0 \sim 40^\circ$
Jupiters	777,8	5 000	$h_0 \sim 5,5^\circ$
Saturns	1426,1	1 490	$h_0 \sim 1,3^\circ$
Urāns	2867,7	368	civilās
Neptūns	4494	150	krēslas
Plutons	9508	111	sākums

Uz Marsa apgaismojums ir tāds pats kā pavasarī vai rudenī dienas vidū skaidrā laikā uz Zemes. Jupitera un Saturna apgaismojums ir līdzīgs kā uz Zemes, kad Saule tuvojas rietam, bet uz tālajām planētām vienmēr valda krēsla vai nakts. Tiesa gan, cilvēkam uz šīm planētām nav nācies pabūt. Taču cilvēks ir bijis uz Mēness. Neraugoties uz to, ka apgaismojums uz Mēness ir tāds pats kā uz Zemes, apgaismojuma apstākļi tur ievērojami atšķiras atmosfēras trūkuma dēļ. Uz Mēness nav izkliedētās gaismas. Priekšmetu apgaismojums ir tāds, it kā tie atrastos prožektora staros: ir ass kontrasts starp gaismu un ēnu. Uz Mēness nav krēslas. Pēc Saules norietēšanas momentāni iestājas nakts.



Kosmonauts ģeologs H. Smits ar speciālu ierīci savāc Mēness iežus. Uz Mēness nav izkliedētās gaismas, debesis ir melnas un priekšmetu apgaismojums ir tāds, it kā tie atrastos prožektora staros

Debesjums. Debesjums ir optiska parādība, ko novērojam ik dienas. Tas kā apvāzts kupols apņēm mūs no visām debespusēm. Dažkārt dzidri zils, dažkārt melns un zvaigznēm klāts, bet citkārt nemīlīgu mākoņu tīts, tas nepārtraukti pavada mūs gaitās. Ilgus gadsimtus cilvēka spēkos nebija sasniegt šā kupola malu un palūkoties aiz tā.

Senajā Grieķijā un Senajā Romā debesjumu uzskatīja par cietu kupolu, kas pārklāj Zemi. Pēc Ptolemaja domām, kupolu veido septiņas kristāla sfēras, kurām piestiprināts, Mēness, Merkurs, Venera, Saule, Marss, Jupiters un Saturns. Viduslaiku šolasti strīdējās, no kā veidotas šīs sfēras: no stikla, kristāla vai zilās krāsas dārgakmeņiem (piemēram, safīra). Pareizu viedokli 15. gadsimtā izteica Leonardo da Vinči. Darbā "Par glezniecību"

viņš rakstīja: "Debess zilums rodas, pateicoties apgaismotu gaisa daļiņu slānim, kas atrodas starp Zemi un augšā esošo tumsu." Džordāno Bruno (1548 – 1600) savukārt rakstīja: "Debesu kristāls man vairs nav šķērslis, sagraujot to, pacelšos bezgalībā."

Gaiss, kas mūs apņem, ir bezkrāsaina gāze. Dažus metrus biezs gaisa slānis optiskā ceļā nav sajūtams. Ja gaisa slāņa biežums sasniedz vairākus kilometrus, tad ir saredzama dūmaka, kas aizsedz tālus priekšmetus. Visa atmosfēra, pateicoties tā slāņa lielajam biežumam, veido debesvelves zilo kupolu. Atmosfērā notiek gaismas izkliede gan no gaisa molekulām, gan arī no dažāda lieluma un dažādas izcelsmes daļiņām. Molekulārā izkliede pakļaujas Releja likumam un rada debess zilo krāsu, jo vairāk tiek izkliedēti īsviļņu starojumi. Izkliede lielākās daļiņās (aerosolā izkliede) ir neitrāla. Tā klājas pāri molekulārai izkliedei, samazinot debess zilumu un palielinot debesjuma spilgtumu. Debesis vistumšākās ir zenīta rajonā, kur izkliedē piedalās visplānākais un tīrākais gaisa slānis. Šeit pārsvarā ir molekulārā izkliede. Attālinoties no zenīta, izkliedē piedalās lielāks gaisa slānis un palielinās aerosolās izkliedes īpatsvars. Tādējādi debesis kļūst gaišākas un horizonta tuvumā pāriet bāli zilā krāsā. Piesārņotā atmosfērā zilā toņa intensitāte samazinās visos virzienos. Debesis kļūst bālas un spožas.

Izplatītākais aerosols atmosfērā ir ūdens kondensācijas un sublimācijas produkti: ūdens pilieni un ledus kristāli. No tiem pamatā sastāv mākoņi. Gaisā ir arī putekļi, ko galvenokārt piegādā Āzijas un Āfrikas tuksneši. Putekļi rodas arī vulkānu darbības dēļ, kā arī sadegot un iztvaikojot meteorītiem. Lielu daļu veido cilvēku darbības izraisītais piesārņojums – antropogēnais aerosols. Šādas izcelsmes daļiņu izmēri ir no 0,5 μm līdz 10 μm, un to koncentrācija var mainīties plašās robežās no 0,01 cm⁻³ līdz 2 cm⁻³. Daļiņas kalpo par miglas un mākoņu kondensācijas centriem.

Pašā atmosfērā ķīmiskajās reakcijās rodas sēra – skābekļa un slāpekļa – ūdeņraža savienojumi un arī organisko savienojumu (degšanas produktu, augu izdalījumu) polimerizācijas produkti. Šī frakcija ir sīkdispērgēta un veido daļiņas, kuru izmēri ir no 0,05 μm līdz 0,5 μm. Zemes virsmas tuvumā šo daļiņu koncentrācija ir samērā liela – 2·10³ – 10⁴ cm⁻³. Šīs frakcijas aerosols nosaka atmosfēras optiskās īpašības. Uz tām notiek galvenā gaismas izkliede. Izkliede aerosolās daļiņās atšķiras no molekulārās izkliedes. Par nosacītu robežu starp molekulāro un aerosolo izkliedi pieņem izkliedi daļiņās, kuru izmēri ir λ/10. Ja daļiņas ir lielākas par šo vērtību, tad izkliedi minētajās daļiņās sauc vācu zinātnieka Gustava Mī vārdā par Mī izkliedi. Mī teorija ir vispārīgāka par Releja teoriju. Releja teorija ir Mī teorijas speciālgadījums, ja daļiņu izmēri kļūst ievērojami mazāki par izkliedētā starojuma viļņa garumu.

Izkliedētās gaismas leņķiskais sadalījums ir atkarīgs no izkliedējošo daļiņu izmēriem. Releja izkliedē izkliedētās gaismas leņķiskais sadalījums ir simetrisks. Izkliedētās gaismas daudzums krītošās gaismas virzienā ir tāds pats kā pretējā virzienā. Palielinoties daļiņu izmēriem, izkliede notiek galvenokārt uz priekšu.

Izkliedētā gaisma ir daļēji polarizēta. Polarizācijas pakāpi raksturo ar izkliedētās gaismas polarizētās daļas attiecību pret visu izkliedētās gaismas intensitāti dotā virzienā. Pēc Releja teorijas, polarizācijas pakāpe ir:

$$p = 1 - |\cos\Theta|,$$

kur Θ ir leņķis starp krītošās un izkliedētās gaismas virzieniem. Ja Θ ir 0° un 180° , tad polarizācijas pakāpe ir 0. Ja Θ ir 90° vai 270° , tad izkliedētā gaisma ir pilnīgi polarizēta. Pārējos gadījumos polarizācija ir daļēja. Mī izkliedē nav tāda virziena, kur būtu pilnīga izkliedētās gaismas polarizācija. Palielinoties daļiņu izmēriem, polarizācijas pakāpe visos virzienos samazinās.

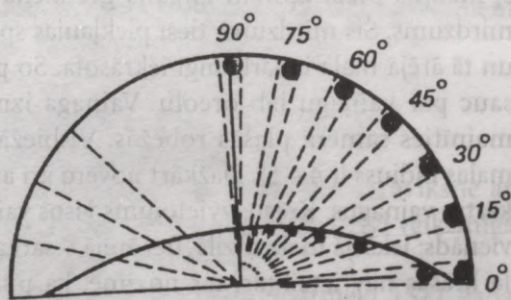
Debess spožums un tonis mainās, attālinoties no Zemes virsmas. Ja toni, kādā iekrāsotas debesis, parasti dēvējam par debeszilu, tad augstu kalnos (5 – 8 km) vai no lidmašīnas (10 km) tās ir piesātināti zilas. Kosmonauti 100 km un lielākā augstumā jau novēro melnas debesis. Debess krāsu mēri ar speciāliem instrumentiem – cianometriem (lat. *cianus* – zils). Pirmo cianometru izveidoja Horaks Sosīrs 18. gadsimtā. Tas sastāvēja no 53 papīra strēmelēm, kuras bija nokrāsotas atšķirīgos zilos toņos: no gandrīz melnām līdz piesātināti zilām un tālāk bāli zilām. Tagad izmanto uzlabotus instrumentus, piemēram, safīra un spektrālos cianometrus.

Varētu domāt, ka debesjumam ir pussfēras forma. Taču uzmanīgs novērotājs būs pamanījis, ka tas tā nav. Aptverot ar skatienu debesis no zenīta līdz horizontam, viegli pārliecināties, ka debesjumam ir saplacināta kausa forma. Turklāt debess forma nav pastāvīga, tā mainās atkarībā no apgaismojuma un mākoņu daudzuma. Dienā debesis šķiet vairāk saplacinātas nekā naktī. Mākoņainas debesis izskatās zemākas nekā dzidras. Ja debesis ir klātas ar blīvu mākoņu segu, tās atgādina lēzenu apvāztu trauku.

Viegli izdarīt šādu eksperimentu: vizuāli sadalīt loku no zenīta līdz horizontam uz pusēm un pēc tam ar kādu ierīci izmērīt leņķi no horizonta līdz atrastajam šķietamajam viduspunktam. Ja debesjums būtu pussfēra, tad leņķim jābūt 45° lielam. Novērojumi dod mazāku vērtību. Ja debesis ir klātas ar blīvu mākoņu segu, tad šis leņķis ir ap 18° . Leņķis ir lielāks, ja ir skaidra diena, un sasniedz $20 - 22^\circ$, Mēness gaismā – 30° , tumšā bezmēness naktī – $40 - 44^\circ$.

Debess kupola saplacinātā forma izraisa arī citas redzes ilūzijas. Viena no tām ir šķietamā Saules un Mēness izmēru palielināšanās pie debesjuma lēkta un rieta laikā. Šādu parādību novēro arī zvaigznājiem. Par šiem efektiem savā darbā “Meteoroloģija” jau rakstīja Aristotelis, bet tā skaidrojumu 11. gadsimtā sniedza Alhazens.

Visu, ko pie debesīm redzam, mēs projicējam uz debesjuma kā uz ekrāna. Saules un Mēness leņķiskie izmēri dienakts laikā nemainās ($\sim 32'$), taču lineārie izmēri, projicējoties uz novērotājam tuvākā ekrāna (zenīta), būs mazāki nekā projekcijā uz tālāka ekrāna (pie horizonta). Šā iemesla dēļ mēs neprecīzi novērtējam arī citu parādību (polārblāzmas, meteorītu, mākoņu, lidmašīnu) augstumu pie debesjuma. Faktiski tā ir perspektīvas parā-



Aptverot ar skatienu debesis no zenīta līdz horizontam, viegli pārliecināties, ka debesjumam ir saplacināta kausa forma. Debess kupola saplacinātā forma izraisa arī citas redzes ilūzijas. Viena no tām ir šķietamā Saules un Mēness izmēru palielināšanās pie debesjuma lēkta un rieta laikā



Van Goga glezna "Sējējs".
Mēness attēlots pārspilēti liels

dība. Jo priekšmets atrodas tālāk, jo mazākā leņķī mēs to redzam. Saskaņā ar mūsu uztveres īpatnībām, tuvojoties horizontam, Mēnesim vajadzētu samazināties kā visiem objektiem horizonta tuvumā, taču tas nenotiek. Tādēļ mums šķiet, ka Mēness kļūst lielāks, nekā tam vajadzētu būt (salīdzinot ar citiem objektiem pie horizonta). Ja zūd iespēja Mēnesi salīdzināt ar citiem horizonta tuvumā esošiem objektiem, tad minētā ilūzija zūd. Piemēram, novērojot Mēnesi caur garu cauruli, tā lielums šķiet normāls. Tas lieku reizi parāda redzes procesa sarežģīto dabu, ko nevar izskaidrot tikai ar optikas likumībām. Šeit būtiska nozīme ir psihei – jāievēro redzes uztveres psiholoģija.

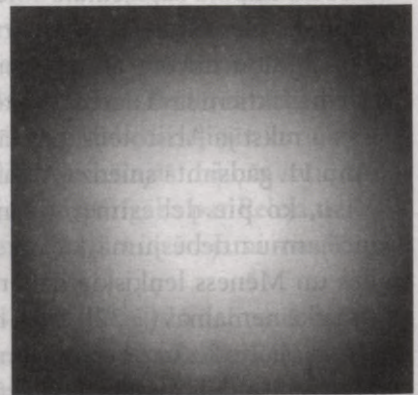
Vainags. Ja Sauli vai Mēnesi aizsedz plāni mākoņi, kas sastāv no ūdens pilieniem vai ledus kristāliem, tad spīdekļus bieži apņem zilgans gredzena formas mirdzums. Šis mirdzums tieši piekļaujas spīdeklim, un tā ārējā mala ir sarkanīgi iekrāsota. Šo parādību sauc par vainagu jeb oreolu. Vainaga izmēri var mainīties samērā plašās robežās. Visbiežāk ārējās malas rādiuss ir $4 - 5^\circ$. Dažkārt novēro arī augstākas kārtas vainagus. Krāsu izvietojums visos vainagos ir vienāds: iekšējā mala ir zilā, bet ārējā – sarkanā tonī. Ja krāsas nav izteiktas, tas nozīmē, ka pilienu vai kristālu izmēri atmosfērā ir stipri atšķirīgi. Katra izmēra daļiņas dod savu vainagu sistēmu, un, tiem pārklājoties, krāsas zūd. Miglainā laikā vainagi parādās arī ap mākslīgiem gaismas avotiem.

Vainagu rašanos izskaidro difrakcijas teorija. Vainaga leņķisko rādiusu φ un izkliedējošā ūdenspiliena diametru d saista sakarība $\sin\varphi = 1,22\lambda/d$.

Ledus kristāliem izmanto līdzīgu izteiksmi $\sin\varphi = \lambda/d$.



A. Ruso glezna "Vakara karnevāls".
Mēness izmēri izvēlēti atbilstoši optikas likumībām



Vainags jeb oreols ap Mēnesi

Nosakot vainaga leņķisko rādīsu, var atrast ūdens pilienu un ledus kristālu vidējos izmērus. Ja vainaga rādīss samazinās, tad izkļiedējošās daļiņas palielinās. Pretējā gadījumā, ja vainaga rādīss kļūst lielāks, notiek ūdens pilienu un ledus kristālu iztvaikošana.

Bišopa gredzens. Pēc spēcīgiem vulkānu izvirdumiem ap Sauli veidojas brūni sarkans gredzens, kura ārējais leņķiskais rādīss ir 22° un platums 10° . Gredzens rodas 25 – 30 km augstumā. Debesis gredzena iekšpusē ir gaišzilā krāsā. Parādība nosaukta tās pirmā pētnieka Bišopa vārdā par Bišopa gredzenu. Spriežot pēc lieluma, to varētu pieņemt par halo. Faktiski tas ir gigantiska izmēra vainags, uz ko norāda krāsu izvietojums. Bišopa gredzena ārējā mala ir sarkana. Vainaga neparastais lielums izskaidrojams ar daļiņu sīkajiem izmēriem atmosfēras augšējās slāņos. Ja gredzena rādīss ir 22° , tad daļiņu diametrs ir 1,5 – 1,8 μm . Bišopa gredzenus novēroja pēc Krakatau (1883. g.) un Agunga (1963. g.) izvirdumiem Indonēzijā, Katmaja (1912. g.) izvirduma Aļaskā, Maunaloa (1985. g.) izvirduma Havaju salās.

Minētie piemēri rāda, ka optiskās parādības atmosfērā sniedz vērtīgu informāciju par procesiem, kas šeit norisinās.

Brokena rēgs. Parādība savu nosaukumu guvusi no Brokena kalna Harca masīvā Vidusvācijā, kur šī parādība pirmoreiz novērota un pēc tam aprakstīta. Brokena rēgu var novērot kalnos no rīta vai vakaros, kad Saules staru virziens ir tuvs horizontālam. Labvēlīgos apstākļos var veidoties cilvēka ēna uz vertikālas miglas vai mākoņa sienas, kas apņem pretējā kalna virsotni.

Brokena rēgam līdzīga parādība ir glorijs. Tā veidojas ap lidmašīnas vai kosmisko staciju ēnām. Gloriju var novērot uz zemāk esošo mākoņu segas. Līdzīgi kā Brokena rēgs un glorijs rodas nimbs, ko var novērot ap cilvēka galvas ēnu. Mirdzumu ap galvas ēnu vislabāk var redzēt vasarā pēc saullēkta rasantā plāvā. To labi var novērot arī sniegā. Kristiešu un budistu ikonogrāfijā nimbi apņem svēto galvas.

Brokena rēgus, glorijas, nimbus veido sfēriskas formas ūdens pilieni, ja Saules stari atstarojas pretējā virzienā paralēli krītošam staram. Nimbs visbiežāk rodas, ja Saule atrodas zem un acīs nonāk stars, kurš izkļieds par 180° .

Varavīksne. Varavīksne ir viena no skaistākajām dabas parādībām. Tā jau kopš seniem laikiem pārsteigusi un iepriecinājusi cilvēkus. Lukrēcijs rakstīja:

“Tur, ja Saules stari iespīd negaisa miglā

Tieši iepretī lietum, kas no mākoņa pilienus raisa,

Varavīksnes krāsas spožas uzmirz negaisa mākonī melnā.”

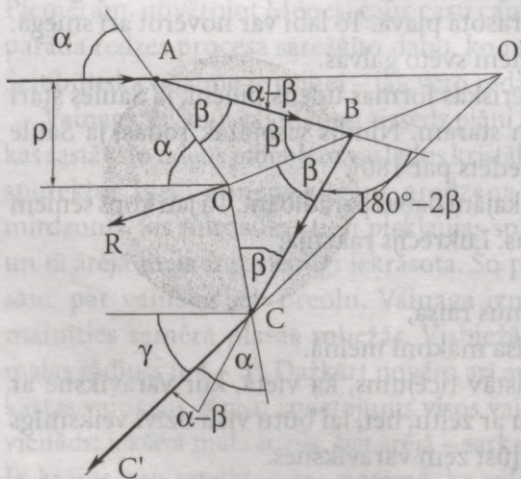
Varavīksni uzskata par labā vēstnesi. Pastāv ticējums, ka vietā, kur varavīksne ar savu loku pieskaras zemei, var atrast podiņu ar zeltu, bet, lai būtu visu dzīvi veiksmīgs un laimīgs, kaut reizi ar basām kājām jānokļūst zem varavīksnes.

Varavīksnes parādīšanos centušies izskaidrot daudzi filozofi un zinātnieki. 1571. gadā Flečers no Breslavas publicēja darbu, kurā apgalvoja, ka varavīksne rodas, Saules staram divreiz lūstot vienā pilienā un pēc tam atstarojoties no otra piliena. Antonio Dominiko 17. gadsimta sākumā apgalvoja, ka pietiek aplūkot vienu lietus pilienu, kurā stars divreiz lūst un vienreiz atstarojas. Dominiko uzskatus tālāk attīstīja Renē Dekarts. Viņš izsekoja 10 000 paralēlu Saules staru ceļu ūdens pilienā. Pirmais no šiem stariem pieskaras ūdens pilienam, bet 10 000. stars iet cauri piliena centram. Dekarts konstatēja, ka stari, kuru

kārtas numuri atrodas starp 8500. un 8600., atstāj pilienu vienā un tai pašā virzienā. Šajā virzienā stari būs visvairāk sablīvēti. Pamatojoties uz staru laušanas un atstarošanas likumiem, viņš atklāja, ka varavīksnes novērošanas virziens un Saules stara virziens veido apmēram 42° . Dekarts pamatoja arī papildvaravīksnes rašanos, kam nepieciešams, lai gaismas stars ūdens pilienā divreiz lūstu un divreiz atstarotos. Papildvaravīksne parādās 53° leņķī. Dispersija tad vēl nebija pazīstama, tādēļ Dekarta varavīksne bija bezkrāsaina, t. i., balta.

Neviens pirms Ņūtona nespēja izskaidrot varavīksnes krāsas. Tolaik optikā valdīja Aristoteļa krāsu hipotēze. Tika apgalvots, ka krāsu atšķirības atkarīgas no tumsas daudzuma, kas piejaukta baltai gaismai. Violetā gaisma rodas, ja baltai gaismai piejauk daudz tumsas, sarkanās gaismas iegūšanai nepieciešams vismazākais tumsas piejaukums. Pareizu varavīksnes krāsu skaidrojumu izklāstīja Ņūtons savās optikas lekcijās: "No stariem, kas iekļūst lodē, daļa iziet pēc vienas atstarošanās, citi pēc divām atstarošanās. Ir stari, kas izkļūst pēc trim un pat vairākām atstarošanās. Tā kā lietus pilieni ir ļoti mazi, salīdzinot ar attālumu līdz novērotāja acīm, tos fizikāli var uzlūkot par punktiem, tāpēc nav vērts aplūkot to lielumu, bet gan tikai leņķus, kas veidojas krītošajiem stariem ar izejošajiem. Tur, kur šie leņķi ir vislielākie vai vismazākie, izejošie stari ir visvairāk sablīvēti. Tā kā dažāda tipa stari veido dažādus lielākos un mazākos leņķus, tad stariem, kas blīvāk saplūst dažādās vietās, ir tieksme veidot savas īpatnējās krāsas." Optikas lekcijas tika rakstītas 17. gadsimta 70. gados, bet publicētas 1729. gadā. Tā Ņūtons 30 gadus pēc Dekarta izskaidroja varavīksnes krāsas, parādot, ka, baltai gaismai lūstot ūdens pilienu,

tā sadalās krāsainā. Pēc amerikāņu zinātnieka A. Fazera vārdiem, "Dekarts piekāra varavīksni vajadzīgajā vietā pie debesjuma, bet Ņūtons to izkrāsoja visās spektra krāsās". Ņūtona idejas paskaidrošanai izmantosim zīmējumu.



- R – piliena rādiuss
- ρ – sadursmju rādiuss
- $\xi = \rho/R = \sin\alpha$ – sadursmju parametrs
- α – stara krišanas leņķis
- β – laušanas leņķis
- γ – leņķis starp krītošo staru un varavīksnes novērošanas virzienu
- n – ūdens laušanas koeficients

Stara gaita pilienā ir simetriska taisnei OO' . Punktos A un C gaismas stars lūst un pagriežas par leņķi $\alpha - \beta$. Punktā B gaismas stars pagriežas par leņķi $180^\circ - 2\beta$. No piliena izejošais stars ir pagriezts attiecībā pret krītošo staru par leņķi:

$$2(\alpha - \beta) + (180^\circ - 2\beta) = 180^\circ + 2\alpha - 4\beta = 180^\circ - \gamma.$$

No šejienes izriet, ka $\gamma = 4\beta - 2\alpha$. Izmantojot laušanas likumu $\sin\alpha/\sin\beta = n$, var iegūt vienādojumu:

$$2\frac{\xi}{n}x\sqrt{1-\left(\frac{\xi}{n}\right)^2} = \xi.$$

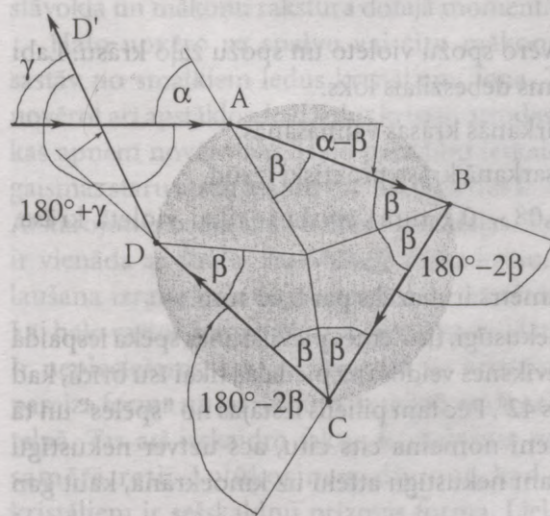
Šim vienādojumam ir divas saknes: $\xi_1 = 0$ un $\xi_2 = \frac{n}{2}x\sqrt{4-n^2}$. Ja $n = 4/3$, kas atbilst ūdens laušanas koeficienta vērtībai spektra dzeltenajā daļā, tad $\xi_2 = 0,994$.

No aplūkotā uzdevuma izriet, ka, palielinot sadursmju parametru no nulles līdz vienam, leņķis γ mainās no nulles līdz kādai maksimālai vērtībai un pēc tam atkal samazinās līdz nullei, kad $\xi = 0,994$ (dzeltenās gaismas stariem). Var atrast γ maksimālo vērtību γ_m . Pie šīs vērtības stari, Ņūtona vārdiem runājot, visvairāk sablīvējas. Uzdevumu var atrisināt, pielīdzinot leņķa γ atvasinājumu nullei. Tad iegūst izteiksmi:

$$\gamma_m = 4\arcsin\frac{1}{n}x\sqrt{4-\frac{n^2}{3}} - 2\arcsin\sqrt{4-\frac{n^2}{3}}.$$

Dzeltenai gaismai $n = 4/3$ un $\gamma_m = 42^\circ 02'$.

Aprēķinu rezultāti rāda, ka dažādām sadursmju parametru vērtībām (robežās no 0 līdz 1) atstarotā gaisma izplatās dažādos leņķos γ . Maksimālais spožums būs tajā virzienā, kur stariem būs mazākā leņķiskā izkliede. Dzeltenai gaismai tā būs leņķa vērtībai $42^\circ 02'$ attiecībā pret taisni, kas savieno Sauli un novērotāju. Ja Saule atrodas uz horizonta līnijas, tad šī gaisma veido loku, kuras maksimālais augstums ir $42^\circ 02'$. Sarkanai gaismai ($n = 1,33$) atbilstošais leņķis ir $42^\circ 22'$, bet violetai ($n = 1,344$) mazāks, t. i., $40^\circ 36'$. Kļūst skaidrs, kāpēc varavīksnes ārējais loks ir sarkans, bet iekšējais violets. Pateicoties stariem, kuri atstarojas pie mazākām leņķa γ vērtībām, debesis zem varavīksnes būs nedaudz gaišākas par debesīm virs varavīksnes.



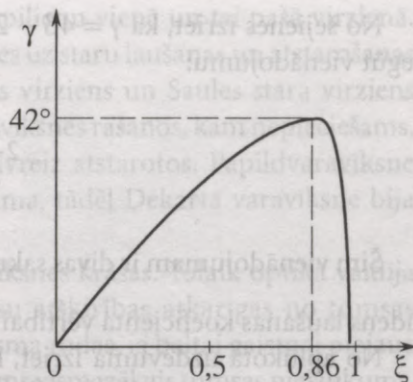
Papildvaravīksnes veidošanās

Aplūkojam galvenās varavīksnes rašanās noteikumus. Dažreiz var novērot virs galvenās varavīksnes arī otru vājāk izteiktu papildvaravīksni. Tā rodas, gaismas staram divreiz lūstot un divreiz atstarojoties ūdens pilienā. Stars DD' , kas piedalās papildvaravīksnes veidošanā, ir pagriezts leņķī $\gamma' = 180^\circ + 2\alpha - 6\beta$ attiecībā pret krītošo staru. Izdarot vienkāršus pārveidojumus, iegūst:

$$\gamma' = 180^\circ + 2\arcsin\xi - 6\arcsin(\xi/n).$$

Ja $\xi = 0$, tad $\gamma' = 180^\circ$. Palielinoties ξ vērtībai no 0 līdz 1, leņķis γ' samazinās un pie kāda ξ' sasniedz mazāko vērtību, bet pēc tam atkal pieaug.

Dzeltenajiem stariem leņķa γ' mazākā vērtība ir $52^{\circ}52'$. Šādā leņķī novērotājs saskatīs vismazāk izkliedētos, tātad visspožākos, dzeltenos starus. Sarkanie stari veido spožāko loku nedaudz mazākām leņķa vērtībām, bet violette – lielākām. Krāsu izvietojums papildvaravīksnē ir pretējs tam, kādu novēro galvenajā varavīksnē. Debesis virs papildvaravīksnes ir nedaudz gaišākas nekā zem tās. Ievērojot iepriekš sacīto, var secināt, ka debesis starp abu varavīksņu sarkanajiem lokiem veido tumšāku joslu. Šo joslu jau mūsu ēras 2. gadsimtā novēroja grieķu filozofs Aleksandrs, tādēļ to dažkārt dēvē par Aleksandra joslu.



Dzeltenai gaismai $n = 4/3$ un $\gamma_m = 42^{\circ}02'$

Novērotājs uz zemes varavīksni redz kā loka daļu. Saulei lecot vai rietot, tas ir pusloks. Ja Saule sasniedz 42° lielu augstumu virs horizonta, tad varavīksne izzūd. Savādāk tas ir novērotājam, kas atrodas lidmašīnā vai Zemes mākslīgajā pavadoņī. Tad labvēlīgos apstākļos iespējams novērot varavīksni, kas veido noslēgtu loku.

Varam novērtēt, kā izskatīsies varavīksne, ja tā veidojas šķidruma pilienos ar citu laušanas koeficientu, piemēram, Veneras atmosfērā, kuras sastāvā ir sērskābe. Ja sarkanās un violetās gaismas laušanas koeficienti ir atbilstoši $n_s = 1,66$ un $n_v = 1,68$, tad $\gamma_s = 11^{\circ}$ un $\gamma_v = 10^{\circ}$. Ja $n = 2$, tad varavīksne deģenerējas krāsainā plankumā.

Saskaņā ar Ņūtona tuvinājumu varavīksnes teorijā pilienu izmērus neievēro. Precīzai varavīksnes teorijai šāds tuvinājums ir rupjš. Patiesībā ir jāievēro arī difrakcija, kura izpaužas spēcīgāk, ja pilienu izmēri ir mazi. Gaismas difrakcija pilienos iespaido dažādo krāsu toņu spožumu un izraisa sekundāru krāsu loku parādīšanos, kas izkropļo primārās krāsas.

Saskaņā ar M. Minarta datiem pēc varavīksnes izskata var tuvināti spriest par lietus pilienu izmēriem.

- Ja pilienu izmērs ir 1 – 2 mm, tad novēro spožu violeto un spožu zaļo krāsu. Labi redzams sarkanais loks. Tik tikko jūtams debeszila loks.
- Pilienu izmēram ap 0,5 mm jūtama sarkanās krāsas vājināšanās.
- Ja pilienu diametrs ir ap 0,2 mm, tad sarkanā krāsa praktiski izzūd.
- Vēl mazākam pilienu diametram (0,08 – 0,1 mm) spoža ir tikai violetā krāsa. Varavīksne paplašinās un bālē.
- Baltu varavīksni novēro, ja pilienu diametrs ir mazāks par 0,05 mm.

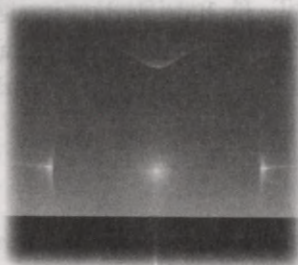
Protams, lietus pilieni nekarājas gaisā nekustīgi, tie Zemes pievilkšanas spēka iespaidā samērā ātri krīt uz leju. Tāpēc piliens varavīksnes veidošanā piedalās tikai īsu brīdi, kad virziens no novērotāja uz šo pilienu ir tuvs 42° . Pēc tam piliens izstājas no “spēles” un tā vietā nāk cits. Neskatoties uz to, ka pilieni nomaina cits citu, acs uztver nekustīgu varavīksnes ainu. Līdzīgā veidā mēs redzam nekustīgu attēlu uz kinoekrāna, kaut gan notiek 24 kadru nomaīņa sekundē.

Halo. Halo novēro daudz retāk par varavīksni. Ja varavīksni uzskatīja par labu zīmi, tad agrāk halo parādīšanās gluži pretēji tika saistīta ar tam sekojošām nelaimēm: karu, badu, slimībām.

Halo (nosaukums cēlies no grieķu vārda *halos* – riņķis) formas ir ļoti dažādas. Var novērot gredzenus ap Sauli un Mēnesi, stabus, krustus un citas zīmes, kas dažkārt var būt sarkanīgā tonī. Amerikāņu polārpētnieks Roberts Piri rakstīja par halo, ko novērojis 1908. gadā ceļā uz Ziemeļpolu. “Mēs novērojām halo, divus skaidri iezīmētus gredzenus un astoņus viltus mēnešus debess dienvidu pusē. Šo parādību, ko izskaidro ar ledus kristālu klātbūtni gaisā, nereti var novērot Arktikā. Šajā reizē iekšējais gredzens bija ar vienu viltus mēnesi zenītā, vienu nadīrā un pa vienam labā un kreisā pusē. Četri citi viltus mēneši izvietojās ārējā gredzenā.”

Halo pilnu struktūru var redzēt ļoti reti. Piri novēroja ļoti bagātu halo veidojumu. Parasti izdodas novērot tikai kādus atsevišķus halo elementus: gredzenus ap Sauli vai Mēnesi, viltus saules, krustu, kurš pārklāj Saules disku. Gredzenu ap Sauli vai Mēnesi novēro 22° leņķī. Gredzens parasti parādās, kad mierīgu un skaidru laiku nomaina vējains un kad debesis kļūst bālas. Tad Saules vai Mēness kontūras izplūst, it kā uz tiem skatītos caur matētu stiklu. Lielais halo parasti nav novērojams pilnībā, parādās tikai atsevišķi tā elementi. Dažkārt vispār nav gredzenu, bet ir redzami tikai trīs spīdekļi: viens īstais un divi viltus. Halo daudzveidība ir atkarīga no atmosfēras stāvokļa un mākoņu rakstura dotajā momentā.

Halo novēro uz spalvu vai citu mākoņu, kas sastāv no smalkiem ledus kristāliem, fona. To var novērot arī apstākļos, kad ledus kristāli atrodas gaisā, kas apņem novērotāju. Halo parādību izskaidro ar gaismas staru atstarošanu un lūšanu ledus kristālos. Atstarojoties rodas halo baltās sastāvdaļas. To krāsa ir vienāda ar Saules vai Mēness diska krāsu. Staru laušana izraisa halo elementu vieglu iekrāsošanos. Lai halo rastos, nepietiek ar ledus kristālu klātbūtni. Ir nepieciešams, lai vairākumam šo kristālu būtu pareiza forma un lai tie būtu noteiktā veidā orientēti telpā. Tas arī izskaidro faktu, ka halo var novērot samērā reti. Aplūkosim gadījumu, kad ledus kristāliem ir sešskaldņu prizmas forma. Lielais un

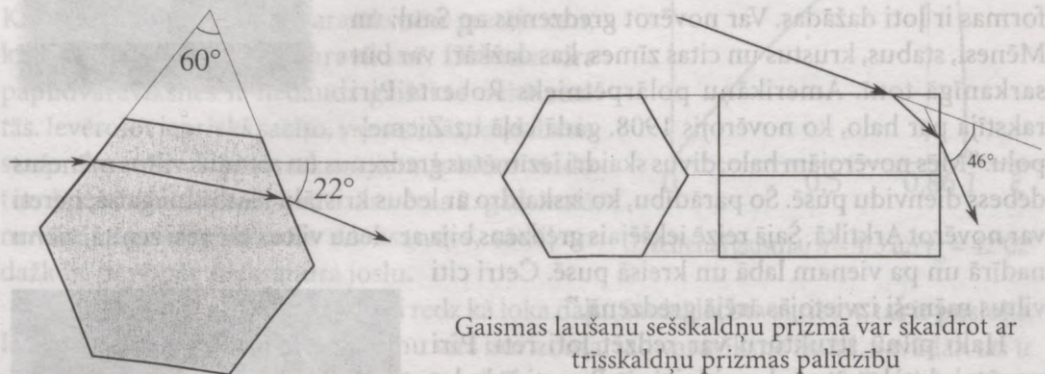


Halo pilnu struktūru var redzēt ļoti reti. Parasti izdodas novērot tikai kādus atsevišķus halo elementus: gredzenus ap Sauli vai Mēnesi, viltus saules, krustu, kurš pārklāj Saules disku



Dažkārt vispār nav gredzenu, bet ir redzami tikai trīs spīdekļi: viens īstais un divi viltus

mazais halo rodas, stariem divreiz lūstot ledus kristālā. Novērotājs ieraudzīs halo vismazākā nolieces leņķa virzienā, kur gaismas stari ir visvairāk sablīvēti. Gaismas laušanu sešskaldņu prizmā var skaidrot ar trīsskaldņu prizmas palīdzību, kā tas parādīts zīmējumā.



Minimālais nolieces leņķis jeb virziens, kurā novēros halo, ir:

$$\delta_{\min} = 2\text{arc sin}(n \sin\Theta/2) - \Theta,$$

kur Θ ir prizmas laužēļleņķis.

Mazais halo rodas, ja gaismas stars divreiz lūst prizmā, kuras laužēļleņķis Θ ir 60° . Lauztie stari visvairāk sablīvējas, ja tie šķērso prizmu simetriski. Ja $n = 1,31$ (dzeltenai gaismai), tad $\delta_{\min} = 22^\circ$. Mazo halo novēro 22° leņķī. Mazais halo pilnībā būs redzams tikai tad, ja ledus kristālu novietojums būs haotisks. Ja kāds virziens būs pārstāvēts vairāk, tad novēros mazā halo gredzena atsevišķas daļas. Ja pārsvarā ir kristālu vertikāla orientācija, tad labāk būs izteiktas mazā halo sānu daļas. Pateicoties gaismas dispersijai, halo var būt iekrāsots kādā tonī. Sarkanajiem stariem $n_s = 1,307$, $\delta_s = 21^\circ 30'$; violetajiem $n_v = 1,317$, $\delta_v = 22^\circ 20'$. Halo iekšējā mala ir iekrāsota sarkanā, bet ārējā violetā tonī.

Lielais halo rodas, gaismas staram lūstot prizmā, kuras virsotnes leņķis ir 90° . Šajā gadījumā dzelteni gaismu ($n = 1,31$) novēro 46° lielā leņķī. Ja ledus kristāliem pārsvarā ir vertikāla orientācija un var novērot mazā halo sānu daļas, rodas priekšnosacījumi lielā halo augšdaļas novērošanai. Apakšējā daļa parasti slēpjas aiz horizonta. Dispersijas dēļ arī lielajā halo parādās krāsas: sarkanā $45^\circ 10'$, bet violetā $48^\circ 10'$ lielā leņķī.

Ja kristālu atstarojošās plaknes ir orientētas horizontāli, tad novēro mirdzošu stabu, kas šķērso Saules disku. Turpretī, ja ledus plāksnītes ir orientētas tā, ka atstarojošās plaknes ir vertikālas, tad rodas gaiša horizontāla josla, kuras platums vienāds ar Saules diska diametru. Liekās saules vai mēneši veidojas vietās, kur horizontālā un vertikālā josla šķērso mazo un lielo halo gredzenu.

Attālums līdz horizontam. Atklātā vietā skaidrā laikā labi redzama horizonta līnija. Var novērtēt, cik tālu tā atrodas, ja novērotājs ir attālumā z_n no Zemes virsmas. Ja stars atmosfērā izplatās pa taisni, tad vistālākais punkts uz Zemes, ko ieraudzīs novērotājs,

būs stara pieskares punkts Zemeslodei – ģeometriskais redzamības attālums D_0 . To nosaka Zemes rādiuss R un novērošanas punkta augstums z_n :

$$D_0 = \sqrt{2Rz_n}.$$

Pieņemot, ka $R = 6378$ km, iegūst $D_0 = 3,57 \sqrt{z_n}$, kur z_n izteikts metros, D_0 – kilometros.

Ja novērotājs aplūko kādu objektu, kura augstums ir z_0 , tad šā objekta ģeodēziskais redzamības attālums ir:

$$D'_0 = 3,57(\sqrt{z_n} + \sqrt{z_0}).$$

Normālā temperatūras un gaisa blīvuma sadalījumā gaismas stara trajektorija refrakcijas dēļ izliecas Zemes virzienā, un redzamības attālums palielinās par 6–7%. Tad:

$$D = 3,82 \sqrt{z_n} \text{ un } D'_0 = 3,82(\sqrt{z_n} + \sqrt{z_0}).$$

Katrs var izskaitļot horizonta attālumu savam augumam. Vidēja auguma cilvēkam $D = 5$ km. No šejienes izriet, ka miglainā laikā horizontu saskatīt nav iespējams. Tam pašam cilvēkam horizonts uz Mēness atrodas 3,3 km tālu. Kosmiskā kuģa “Sojuz – 8” kosmonautu horizonts perigejā 205 km augstumā bija 1730 km, bet apogejā 223 km augstumā – 1800 km.

To, ka Zeme ir apaļa, labi var novērot uz jūras. Roberts Vuds apraksta savus iespaidus, vērojot no kuģa klāja ātrgaitas kutera tuvošanos: “Tā tuvošanās ātrums bija tik liels, ka skaidri bija redzams Zemes virsmas izliekums. Iespaidis bija tāds, kā skatoties uz automašīnu, kura brauc pāri pauguram.”

Jaunās Zemes efekts. Refrakcijas iespaids izpaužas arī citās parādībās. 1596. – 1597. gada ziemā, meklējot ceļu apkārt Eiropai, V. Barenca bija spiests pārziemot Jaunajā Zemē. Pēc polārās nakts Saule pirmoreiz parādījās virs horizonta, kad pēc astronomiskajiem aprēķiniem tai vajadzēja atrasties $4,9^\circ$ zem horizonta. Tādējādi polārā nakts beidzas par dažām dienām agrāk. Barenca šo parādību nosauca par Jaunās Zemes efektu. Šo parādību 1604. gadā izskaidroja Johans Keplers. Barenca novērojumu un Keplera skaidrojumu kādu laiku uztvēra skeptiski. Taču daudzie vēlākie novērojumi pilnībā apstiprināja šāda efekta pastāvēšanu.

1979. gadā V. Ļens pierādīja, ka šādu parādību var novērot, ja pastāv ievērojama temperatūras inversija, t. i., temperatūras pieaugums atmosfēras augšējos slāņos ir apmēram 25° C uz 1000 m. Saules stari, kas nokļuvuši aukstajā gaisa slānī, daudzkārt atstarosies no Zemes virsmas un siltā gaisa slāņa. Atstarotā gaisma veido izkropļotu Saules attēlu. Šādu attēlu 1974. gada 20. janvārī novēroja Jakutijā, kad polārajā naktī pēkšņi uz dažām minūtēm virs horizonta parādījās Saule. Līdzīga situācija veidojas, ja starp diviem siltiem gaisa slāņiem novietojas aukstas gaisa masas, ko dēvē par “siltuma ķīli”. “Siltuma ķīlis” darbojas kā gradienta gaismas vads, nodrošinot gaismas izplatīšanos līdz pat 400 km lielam attālumam.

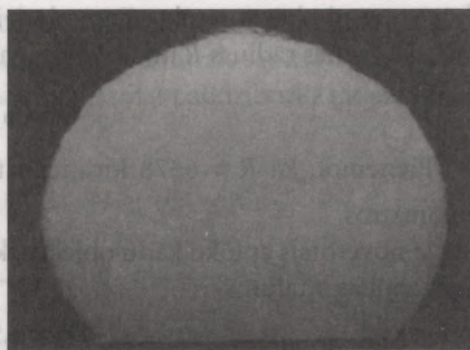
Saules un Mēness diska formas kropļojumi. Ir virkne optisko parādību, kuru skaidrošanai jāizmanto refrakcijas likumības. Refrakcijas dēļ var tikt izkropļota Saules un Mēness diska forma, tiem tuvojoties horizontam. Saules diska deformācija izskaidrojama ar to, ka stari no diska apakšējās malas, saskaroties ar horizontu, tiek

lauzti vairāk nekā augšējās malas stari, kas ir par 32' augstāk virs horizonta. Normālā atmosfēras stāvoklī Saules apakšējā mala refrakcijas dēļ tiek pacelta par 35', bet augšējā par 28'. Tādējādi Saules diska leņķiskais diametrs ir saplacināts par 7'. Polāros rajonos ziemas anticiklona apstākļos refrakcijas leņķis var palielināties, un tad Saules diska deformācija var būt vēl stiprāka.

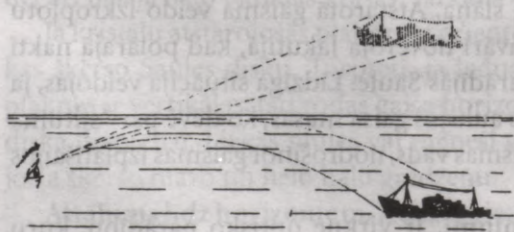
Ja gaisa blīvums ar augstumu mainās nevienmērīgi, tad Saules diska kropļojumi var būt ļoti daudzveidīgi, un tas var pieņemt deformēta 8 vai Ω formu. Tas pats attiecināms arī uz Mēnesi.

Zaļais stars. Saules staru refrakcija atmosfērā ir saistīta ar dispersiju. Jo īsāks viļņu garums, jo stiprāk refrakcijas dēļ noliecas stars. Dažādu viļņu garumu pārklāšanās iespaidā gaisma no Saules diska vidus maina savu krāsu tikai izkļiedes dēļ. Diska augšdaļa kļūst zili zaļa, bet apakšējā oranži sarkana. Rietēšanas brīdī vispirms aiz horizonta pazūd diska sarkanā un oranžā daļa. Saules staru dispersija visspilgtāk izpaužas saulrieta pēdējā brīdī, kad virs horizonta palicis neliels Saules diska augšējais segments. Pēdējais Saules stars dispersijas dēļ veido spektru. Spektra malējo staru izvērsums ir vidēji 38". Tādēļ rietēšanas brīdī notiek strauja krāsu maiņa no sarkanas līdz violetai. Pret zilo un violeto gaismu acs ir mazāk jutīga, turklāt tās stipri izkļiedējas atmosfērā. Pēdējais stars ir spilgtā smaragda krāsā. Šī parādība guvusi zaļā stara nosaukumu. Lai zaļo staru varētu novērot, ir jābūt ļoti tīrai atmosfērai un ļoti labi pārredzamam horizontam.

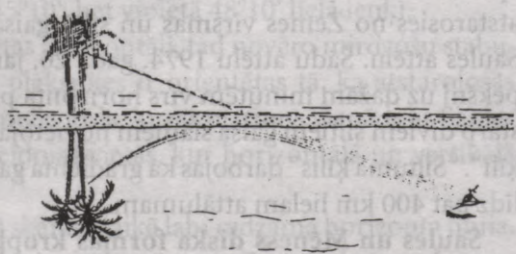
Mirāžas. Daudz ir dzirdēts par oāzēm un ezeriem, ko novērojuši ceļotāji Āzijas un Āfrikas tuksnešos. Šādus šķietamus ezerus Ziemeļāfrikas iedzīvotāji sauc par "velna jūrām". Leģendas stāsta par ļauno feju Morganu, kas ievilina ceļotājus tuksnesī, rādot tiem brīnumainas kristāla pilis. Šīs teiksmainās būtnes vārdā arī tagad mirāžas sauc par fatamorgānām (lat. *fata* – feja). Vārds "mirāža" cēlies no franču valodas un to var tulkot kā "atstarošanās" vai "mānīgs redzējums". Mirāža ir reāli eksistējoša objekta attēls. Tas bieži vien ir palielināts vai stipri izkropļots.



Refrakcijas dēļ var tikt izkropļota Saules un Mēness diska forma, tiem tuvojoties horizontam



Augšējā mirāža rodas, ja gaisa blīvums un laušanas koeficients strauji samazinās, attālinoties no Zemes virsmas



Apakšējā mirāža rodas, ja gaisa temperatūra strauji samazinās augstākajos atmosfēras slāņos virs Zemes

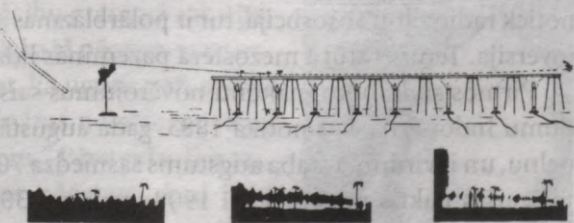
Visbiežāk novēro augšējās un apakšējās mirāžas atkarībā no tā, kur novietojas attēls attiecībā pret pašu objektu. Zināmas arī sānu mirāžas. Mirāžas izraisa gaisa blīvuma (laušanas koeficienta) neparasts sadalījums. Augšējās mirāžas rodas, ja gaisa blīvums un laušanas koeficients strauji samazinās, attālinoties no Zemes virsmas. Pie šādām mirāžām pieder "rēgu" zemes Arktikā, kas tikušas novērotas un gadu desmitiem meklētas, bet tā arī neatrastas. Tās ir Džileša, Oskara, Saņņikova u. c. zemes. Sevišķi ilgi meklēja Saņņikova zemi. Jakovs Saņņikovs, pēc nodarbošanās mednieks, 1811. gadā devās ar suņu pajūgu pa ledu uz Jaunsibirijas salu grupu. No Koteļņija salas viņš okeānā ieraudzīja nepazīstamu salu, taču sasniegt to nevarēja, jo traucēja ledus sastrēgumi. Par savu atklājumu Saņņikovs ziņoja cara valdībai.

Nākamais 1886. gadā ekspedīcijas laikā Saņņikova salu ieraudzīja E. V. Tols, kurš Saņņikova salas meklēšanai veltīja 16 gadus. Pēdējā reisa laikā no 1900. gada līdz 1902. gadam ar kuģi "Zarja" Tola ekspedīcija gāja bojā. Pēc šā notikuma Saņņikova zemi neviens nav redzējis. Augšējā mirāža ir arī "Lidojošais holandietis" – neredzēti liela izmēra rēgu buru kuģis bez komandas uz borta. Tas parādās pēkšņi, pārvietojas klusējot un neatbild uz signāliem. Tas izzūd tikpat pēkšņi, kā parādījies. Pēdējā laikā "Lidojošo holandieti" vairs nenovēro, jo ir izzuduši buru kuģi, taču mūsdienu kuģu mirāžas novēro samērā bieži.

Apakšējā mirāža rodas, ja gaisa temperatūra strauji samazinās atmosfēras augstākajos slāņos virs Zemes. Spoguļa lomu izpilda silta gaisa slānis, kas piekļaujas Zemes virsmai. Šajā gaisa slānī notiek pilnīga iekšējā atstarošanās. Apakšējā mirāža var veidoties, ja temperatūras gradients ir lielāks par $3,42\text{ }^{\circ}\text{C}$ uz 100 m. Novērojot apakšējo mirāžu, rodas iespaids, ka zem objekta ir ūdens virsma un tajā atstarojas visi priekšmeti. Ūdens virsmas lomu izpilda siltais gaisa slānis, kurā atspoguļojas debesis. Gaisa blīvuma sadalījums, pie kāda rodas apakšējā mirāža, nav stabils. Siltais vieglais gaiss atrodas apakšā, bet smagais aukstais – virspusē. Siltā gaisa plūsmas, paceļoties uz augšu, izraisa mirāžas kustību. Novērotājam rodas iespaids, ka "ūdens" virsma viļņojas.

Apakšējās mirāžas rašanos veicina viendabīga līdzena virsma, kāda ir stepēs un tuksnešos, kā arī saulains bezvēja laiks. Mūsu apstākļos apakšējo mirāžu var labi novērot vasarā saulainās bezvēja dienās uz asfaltētiem ceļiem. Tad apakšējā mirāža izpaužas kā šķietamas ūdens peļķes, kuras izzūd, tām pietuvojoties. Novērojumi liecina, ka labvēlīgi apstākļi mirāžu veidošanai rodas Antarktīdā, kur tās var novērot katru otro vai trešo dienu. Pavasaros un rudenos novēro augšējo, bet vasaras periodā apakšējo mirāžu.

1899. gadā Roberts Vuds aprakstīja metodi mākslīgas mirāžas iegūšanai. Vēlāk viņš šo parādību realizēja eksperimentā. Mākslīgais "tuksnesis" Vuda eksperimentā bija metāla loksne, kas pārklāta ar smiltīm un sakarsēta ar gāzes degļiem. Eksperimentā izmantoja spoguļus, lai, lūkojoties no "tuksneša" pretējās puses, tajā atstarotos debesis. Debess attēlam jānolaižas līdz "tuksneša" smilšu līmenim. Uz debess fona novietoja objektu, kas izgriezts no



Vuda eksperimenta shēma un novērotā mirāža

kartona. Ja lūkojas “tuksneša” virsmas līmenī, tad var ieraudzīt mirdzošu ūdens virsmu un objekta attēlu.

Dažreiz veidojas sarežģītas mirāžas formas, kad vienlaikus parādās gan augšējā, gan apakšējā mirāža. Tas var notikt, ja pastāv ievērojama temperatūras inversija kādā augstumā virs relatīvi siltas jūras. Šādā gadījumā gaisa blīvums, palielinoties augstumam, sākumā palielinās, bet pēc tam strauji samazinās. Tad blīvuma sadalījums un atmosfēras stāvoklis ir nestabils un mirāžas izskats var strauji mainīties. Parastas klintis un mājas daudzkārtēju kropļojumu dēļ pārvēršas brīnumainās celtnēs un pilīs. Šādas mirāžas samērā bieži novēro Itālijas un Sicīlijas krastu tuvumā. Dažkārt tās novēro arī augstākos platuma grādos.

Sānu mirāžas rodas tajos gadījumos, kad vienāda blīvuma gaisa slāņi atmosfērā novietoti nevis horizontāli, bet gan slīpi vai vertikāli. Šādi apstākļi var rasties vasaras rītos pēc Saules lēkta pie klinšainiem jūras vai ezera krastiem, kad krastu jau apspīd Saule, bet ūdens virsma un gaiss virs tās vēl ir auksti. Sānu mirāžas vairākkārt redzētas Ženēvas ezerā, kur novērota laiva, kas tuvojas krastam, bet tai blakus tieši tāda pati laiva attālinās no krasta.

Sudrabotie mākoņi. Krēslas apstākļos dažkārt var novērot ļoti caurspīdīgus sudrabkrāsas mākoņus. Tiem ir viļņveida struktūra un caur tiem ir redzamas pat zvaigznes. Šie mākoņi atrodas 80 – 85 km augstu. Sudraboto mākoņu nosaukumu, pateicoties to krāsai, šai parādībai deva vācu zinātnieks O. Jese. Sudrabotos mākoņus novēro tajos krēslas momentos, kad tos vēl apgaismo Saules stari. Līdzko tie nonāk Zemes ēnā, tie kļūst neredzami. Sudrabotos mākoņus var novērot, kad Saule nogrimusi aiz horizonta leņķī no 6° līdz 16° . Vislabākie novērošanas apstākļi ir, ja šis leņķis ir robežās no 8° līdz 12° . Ziemeļu puslodē sudrabotie mākoņi redzami no marta līdz oktobrim.



Sudrabotie mākoņi

Pirmoreiz šo parādību novēroja 1885. gada jūnijā vairāki pētnieki, to skaitā Maskavas observatorijas astronoms V. Ceraskis (1849 – 1925) un igauņu astronoms E. Hartvigs (1851 – 1923). Divas nedēļas pēc to atklāšanas A. Belopoļskis (1854 – 1934) noteica šo mākoņu atrašanās augstumu – 79 km, izmantojot mērījumus, kas izdarīti no diviem dažādiem punktiem. Sudrabotie mākoņi ir Zemes atmosfēras paši augstākie mākoņi, kas rodas augšējā mezosfērā. Šis atmosfēras slānis izraisa zinātnieku lielu interesi. Tur notiek radioviļņu absorbcija, tur ir polārblāzmas apakšējā robeža un notiek temperatūras inversija. Temperatūra mezosfērā pazeminās līdz -140°C .

Pirmos sudraboto mākoņu novērojumus saistīja ar spēcīgo Krakatau vulkāna izvirdumu Indonēzijā, kas notika 1883. gada augustā. Toreiz atmosfērā tika izmests 18 km^3 pelnu, un izvirduma staba augstums sasniedza 70 – 80 km. Spožus sudrabotos mākoņus un gaišas naktis novēroja arī 1908. gadā no 30. jūnija līdz 2. jūlijam pēc Tunguskas kosmiskā ķermeņa krišanas. Tad radās hipotēze par sudraboto mākoņu vulkānisko un meteorītu izcelsmi. 1926. gadā Kuļiks izteica hipotēzi, ka meteorītu daļiņas mezopauzē

kalpo par kondensācijas un sublimācijas centriem, uz kuriem veidojas ledus slānītis. Pēdējā laikā izteiktas domas, ka klasteri $H^+(H_2O)_n$, kur $n > 15$, var kalpot par kondensācijas centriem un veidot izejas materiālu sudraboto mākoņu daļiņu veidošanai. Spektrofotometriskie un polarimetriskie mērījumi ļāva novērtēt sudraboto mākoņu daļiņu izmērus; tie ir no 0,1 μm līdz 1 μm . Daļiņu koncentrācija sudrabotajos mākoņos ir ap 10 cm^{-3} .

Agrāk sudraboto mākoņu pētīšanai izmantoja vizuālu novērošanu krēslas stundās, kā arī lidmašīnas un ģeofizikālās raķetes. Jauns etaps sudraboto mākoņu pētniecībā iesākās ar pilotējamo kosmisko kuģu izmantošanu. Kosmonauti novēroja sudraboto mākoņu daudzslāņu struktūru, kas ļāva spriest par mezopauzes sikstruktūru. Tika veikti pastiprināti pētījumi vulkānisko rajonu tuvumā un atklāta korelācija starp sudraboto mākoņu parādīšanos un spēcīgiem vulkānu izvirdumiem. Sudrabotos mākoņus biežāk novēro vienu līdz trīs gadus pēc spēcīgiem izvirdumiem. Izvirduma laikā atmosfērā nonāk ne tikai putekļi, bet arī ogļskābā gāze un sēru saturoši savienojumi. Tie veido stratosfērā aerosola slāņus. Pēdējā laika pētījumi rāda, ka sudrabotie mākoņi sastāv ne tikai no putekļiem un ledus, bet arī no sērskābes un ogļskābes.

Pēc sudraboto mākoņu fotogrāfijām var konstatēt, ka atmosfēras augšējos slāņos notiek viļņveidīgas svārstības, kuru viļņu garums ir no kilometra līdz dažiem desmitiem kilometru. Pēc šo mākoņu pārvietojuma var spriest arī par vēja virzienu un raksturu šajā mērījumā grūti pieejamajā rajonā.

4. 11. Zibens

Līnijveida zibens. Specifisku vietu starp dažādajām atmosfēras parādībām ieņem zibens. Polārblāzma ir saistīta ar Saules vēja un atmosfēras mijiedarbību, krēsla, varavīksne, halo, mirāžas, rīta un vakara blāzma ar – Saules gaismas un atmosfēras savstarpējo iedarbību, zibens veidojas praktiski tikai atmosfērā notiekošo procesu rezultātā. Zibens līdzīgi Elma ugunim ir luminiscences parādība, taču šīs parādības nozīmība cilvēku dzīvē un dabas procesos ir ļoti liela, tādēļ pelna dziļāku analīzi.

Zibens ir viena no iespaidīgākajām dabas parādībām, kas cilvēku senčos izraisīja bailes. Zibens un pērkons tika uzskatīti par dievu dusmu izpausmi. Arī antīkās pasaules domātājiem nebija nekādu iespēju atklāt zibens un pērkona patieso dabu. Lukrēcijs pērkona izcelsmi skaidroja ar mākoņu savstarpējām sadursmēm vēja darbības iespaidā. Viduslaikos uzskatīja, ka zibens ir uguns, ko apņem ūdens tvaiki. Pat 1760. gadā Sanktpēterburgā izdotā fizikas mācību grāmatā rakstīts: "Ka zibens patiešām ir uguns, izriet no tā, ka tā pēc savas saskaršanās ar ķermeņiem tos aizdedzina. Bet, ka uguns pati sastāv no degošām sēra daļiņām, skaidri izzināms no sēra smakas, kas izdalās no zibens skartiem ķermeņiem." Pārsteidzoši ir tas, ka šī grāmata izdota septiņus gadus pēc tam, kad bija noskaidrota zibens elektriskā daba.

Savukārt franču astronoms Nikolā Kamils Flamarions (1842 – 1925) 20. gadsimta sākumā rakstīja: "Nekāds teatrāls



Nikolā Kamils Flamarions
(1842 – 1925)

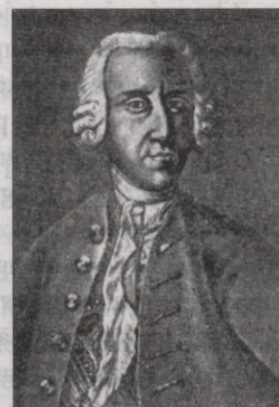
uzvedums, nekādi triki nevar sacensties ar zibeni tā negaidītās parādīšanās un efektu savdabībā. Zibens šķiet kaut kāda speciāla viela, kaut kas vidējs starp neapzinīgiem dabas spēkiem un saprātīgo cilvēka dvēseli; tas ir kaut kāds gars, smalks un untumains, vienlaikus viltīgs un truls, asi redzīgs un akls, apveltīts ar gribu un nebrīvs, pārejošs no vienas galējības otrā, šausmīgs un nesaprotams. Ar to nevienosies, to nesapratīsi. Tas darbojas, un tā darbības, tāpat kā arī mūsu, tikai šķiet kaprīzes, bet patiesībā ir pakļautas kādiem nemainīgiem likumiem. Taču līdz šim laikam mēs nevarējām uztvert šos likumus. Te tas nosit un apdedzina cilvēku, ne tikai saudzējot, bet pat nepieskaroties tā apgērbam. Citreiz tas izģērbj cilvēku kailu, nenodarot tam ne mazāko ļaunumu, neatstājot ne mazākās skrumbaņas. Citā vietā tas zog monētas, nebojājot nedz maku, nedz kabatu. Te noloba lustras zeltījumu un pārnes to uz sienas apmetumu. Te novelk ceļinieka apavus un aizmet tos desmit metrus sāņus vai kādā ciematā izurbj šķīvju kaudzes centrā caurumus, turklāt pārmaiņus pēc katriem diviem... Kādu tur var konstatēt likum-sakarību!”

Līnijveida zibens ir dzirksteles izlāde atmosfērā, kas izpaužas kā spilgts gaismas uzliesmojums, ko pavada pērkona dārdi. Tā nav tikai optiska dabas parādība. Šeit būtiska loma ir elektriskiem, akustiskiem, termiskiem un optiskiem procesiem. Otrs zibens paveids ir lodveida zibens. Lodveida zibens novērojams daudz retāk, un tas vēl ir maz izpētīts. Jaunākie novērojumi liek domāt, ka lodveida zibens enerģija ir ķīmiskas dabas.

Līnijveida zibens elektrisko dabu atklāja amerikāņu fiziķis Bendžamins Franklins (1706 – 1790), kurš 1750. gadā arī izgudroja zibens novedēju. 1753. gadā Franklins veica eksperimentus ar pūķi, kuru palaida negaisa tuvošanās brīdī. Uz pūķa bija piestiprināta metāla smaile, bet auklas galā atslēga un zīda lente, kuru zinātnieks turēja rokā. Vēlāk Franklins rakstīja kādam savam draugam: “Līdzko negaisa mākonis atrodas virs pūķa, smailais vads sāk izvilkt no tā elektrisko uguni un pūķis kopā ar auklu elektrizējas... Bet, kad lietus saslapina pūķi un auklu, ar to pašu padarot tos spējīgus vadīt elektrisko uguni, jūs ieraugāt, ka tas bagātīgi plūst no atslēgas, tuvinot tai pirkstu.” Franklins arī pierādīja zemes un atmosfēras elektrības identitāti. Viņš izmantoja pozitīvās un negatīvās elektrības jēdzienus, kā arī ieviesa apzīmējumus (+) un (-). Franklina eksperimentu dažādos variantos atkārtoja citi zinātnieki. Francūzis Dalibars dārzā ierīkoja 40 pēdu garu dzelzs stieni. Negaisa laikā no šā stieņa plūda dzirksteles. Vienlaikus ar Franklinu zibens pētījumus izdarīja Pēterburgas fiziķis Georgs Rihmans (1711 – 1753) un Mihails Lomonosovs. Rihmanam šie pētījumi beidzās traģiski.



Bendžamins Franklins
(1706 – 1790)



Georgs Rihmans
(1711 – 1753)

Gāzislādes teorētiskos pētījumus veica angļu fiziķis Džons Taunsends (1868 – 1957), kurš 1900. gadā izstrādāja gāzes elektriskās caursites lavīnu teoriju. Ja katoda tuvumā rodas brīvs elektrons, tad pie noteiktas elektriskā lauka intensitātes elektrons iegūst enerģiju, kas nepieciešama gāzes jonizācijai. Šajā procesā elektronu skaits sāk strauji pieaugt – veidojas elektronu lavīna. Pirmos elektronu lavīnu pētījumus izdarīja ar Vilsona kameru. Eksperimenta būtība ir vienkārša. Vilsona kamerā, kuru piepilda ūdens tvaiki, ievietoti divi elektrodi. Sinhroni palielina kameras tilpumu un uzliek spriegumu elektrodiem. Joni, kas rodas lavīnā, kalpo par pārsātināto ūdens tvaiku kondensācijas centriem. Ja elektrisko impulsu izvēlas pietiekami īsu, lai tas beigtos, pirms elektroni sasniedz anodu, tad var nofotografēt atsevišķu lavīnu. Elektronu lavīnu attēlus iespējams iegūt arī uz elektronoptiskā pārveidotāja ekrāna. Primārie elektroni gaisā rodas kosmisko staru darbības un Zemes iežu radioaktivitātes ietekmē. Zināma loma var būt arī Saules starojuma īso viļņu jonizējošai darbībai.

Lavīnu elektriskajos pētījumos noskaidrots, ka notiek eksponenciāls elektronu skaita pieaugums lavīnā: $n_d/n_0 = \exp(\alpha d)$, kur n_0 – primāro elektronu skaits, n_d – elektronu skaits lavīnā pēc noietā ceļa d , α – Taunsenda pirmais koeficients, kas raksturo no jauna radīto sekundāro elektronu skaitu, rēķinot uz primārā elektrona noietā ceļa garuma vienību. Taunsenda teorija dod gāzes elektriskās caursites un patstāvīgās izlādes rašanās nosacījumu ierobežotam parametra $p \cdot d$ apgabalam $\gamma(e^{\alpha d} - 1) = 1$, kur p ir gāzes

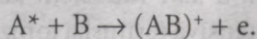


Elektronu lavīna, ja spiediens $p = 1$ atm, elektriskā lauka intensitāte 30 kV/cm, impulsa ilgums $3 \cdot 10^{-7}$ s

spiediens, γ – pozitīvā jona radīto elektronu skaits sekundārajā emisijā no katoda. Normālos apstākļos 1 cm bieza gaisa slāņa caursitei nepieciešams ap 30 000 voltu liels spriegums. Atkāpes rodas, ja ir mazs spiediens, gan arī lielā spiedienā un lielā attālumā. Piemēram, atmosfēras spiedienā patstāvīgās izlādes formēšanās laiks (10^{-7} s, ja $d = 1$ cm) ir par divām kārtām mazāks, nekā izriet no lavīnu teorijas, kur to nosaka pozitīvo jonu kustīgums. L. B. Lēbs, Dž. M. Miks un neatkarīgi H. Reters īso laika sprīdi, kas nepieciešams patstāvīgās izlādes formēšanai, skaidroja ar strīmeru teoriju.

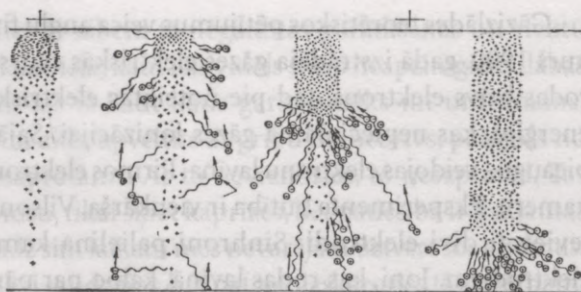
Strīmeri (angļu *stream* – plūst, tecēt) ir tievi mirdzoši jonizētas gāzes kanāli, kas veidojas stiprā elektriskā laukā, ja gāzes spiediens ir tuvs atmosfēras spiedienam. Strīmeri veidojas stadijā pirms izlādes spraugas caursites. Strīmers atšķiras no lavīnas ar lielu kustības ātrumu (10^6 m/s), kas ievērojami pārsniedz elektronu dreifa kustības ātrumu elektriskā laukā. Atkarībā no strīmera pārvietošanās virziena atšķir anoda un katoda strīmerus. Sākotnēji strīmeru lielo kustības ātrumu skaidroja ar lavīnas izstaroto kvantu jonizējošo darbību. 1962. gadā eksperimentos ar Vilsona kameru Reters novēroja lavīnas pāreju strīmerā. Lēbs, Miks un Reters gāzes elektriskās caursites īslaicību skaidroja ar divu faktoru darbību.

- Rezonanses starojums veic gāzes daļiņu ierosināšanu. Asociatīvās jonizācijas procesā elektrons atbrīvojas pēc šādas shēmas:



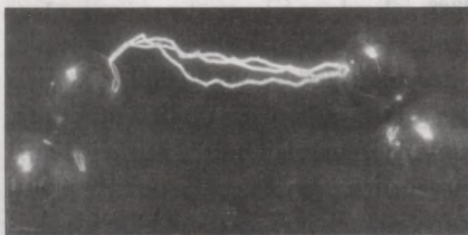
Atbrīvotais elektrons turpmāk piedalās gāzes caursītes procesā. Pēc jaunākajiem pētījumiem, šis process ir efektīvāks par gāzes tiešo fotojonizāciju.

- Strīmera galvas tuvumā telpas lādiņš rada stipru elektrisko lauku, kas ir lielāks par vidējo lauka vērtību. Tas nodrošina augstu jonizācijas pakāpi strīmera izplatīšanās frontē. Strīmeru teorija labi izskaidro dzirksteles izlādes rašanos starp elektrodiem apmēram vienu atmosfēru lielā spiedienā.

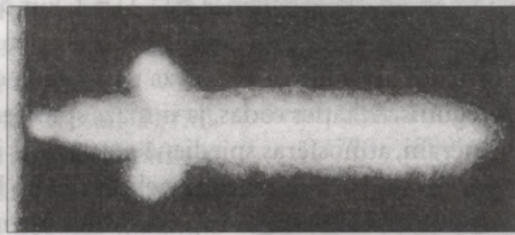


Strīmera veidošanās shēma

Pamatojoties uz strīmeru teoriju, var izskaidrot arī zibens rašanos un īpašības. Zibens visbiežāk rodas negaisa gubu mākoņos. Tas var veidoties arī vulkānu izvirdumos un virpuļviesulī, kur notikusi lādētu daļiņu uzkrāšanās. Dažas zibens īpašības ir atšķirīgas no attiecīgām dzirksteles izlādes, kas notiek starp elektrodiem, īpašībām. Zibens, pirmkārt, rodas elektriskajos laukos, kas ir vājāki par tiem, kādi nepieciešami dzirksteles izraisīšanai starp elektrodiem. Otrkārt, zibens pārnestā lādiņa savākšana no milzīga skaita izolētu daļiņu, kas izvietotas vairāku kubikkilometru lielā tilpumā, notiek sekundes tūkstošdaļās. Tāpēc jautājumos, kas saistīti ar zibens rašanos, vēl ir daudz neskaidrību.



Dzirksteles izlāde starp elektrodiem



Strīmera, kas iegūts Vilsona kamerā, fotogrāfija

Lai zibens rastos, nepieciešams, ka relatīvi lielā tilpumā veidotos ap 1 MV/m (10 000 V/cm) intensīvs elektriskais lauks. Tāds lauks vajadzīgs, lai sāktos izlādes process. Mākoņa pārējā daļā lauka intensitātei jābūt 2000 V/cm, lai uzturētu uzsāktu izlādes procesu. Izlādes procesā elektriskā enerģija pārvēršas citos enerģijas veidos: siltuma enerģijā, gaismā, mehāniskajā un ķīmiskajā enerģijā. Izlāde var notikt starp mākoņiem vai arī starp mākonī un zemi. Pēdējā gadījumā zibens attīstībā ir vairākas stadijas. Pirmajā stadijā zonā, kur elektriskais lauks sasniedz kritisko vērtību, sākas trieciena jonizācija. Jonizāciju veic elektroni, kuri enerģiju saņem no elektriskā lauka. Šajā procesā rodas elektronu lavīnas, kas veido strīmerus ar elektrību labi vadošiem kanāliem. Strīmeriem apvienojoties, veidojas līderis, kurā notiek intensīva termiskā jonizācija un atomu ierosināšana. Līdera

pārvietošanās zemes virzienā notiek pakāpienveidīgi, tādēļ to dēvē par pakāpienveida līderi. Pārvietojoties apmēram 50 metrus ar $5 \cdot 10^7$ m/s lielu ātrumu, līdera kustība uz dažām mikrosekundēm apstājas. Tā spožums samazinās. Pēc tam līderis atkal pārvietojas par dažiem desmitiem metru, kura laikā spoži mirdz viss iepriekšējos etapos noietais līdera ceļš.

Tuvojoties zemes virsmai, līdera elektriskā lauka intensitāte pieaug. Tā iedarbībā no virszemes objektiem veidojas atbildes strīmeri. Apvienojoties līderim ar atbildes strīmeru, izlādes kanāls noslēdzas. Nobeiguma stadijā pa līdera jonizēto kanālu notiek zibens galvenā izlāde. Šajā stadijā strāvas stiprums sasniedz 10 000 – 100 000 ampēru. Izlādes pārvietošanās ātrums var būt ap 10^8 m/s. Galvenās izlādes stadijā zibens, t. i., izlādes kanāla mirdzums, virzās no lejas uz augšu. Izlādes kanāla garums atkarībā no apstākļiem ir no 1 līdz 10 km, tā diametrs ir daži centimetri. Galvenās izlādes temperatūra var sasniegt 25 000 K. Tāpēc zibens kanāla spožums pārsniedz līdera spožumu. Izlādes impulsa ilgums ir ap 0,001 s. Pēc galvenā strāvas impulsa zibens kanāla jonizācijas pakāpe un spožums samazinās. Kanāla temperatūra pazeminās līdz 1000 K.

Galvenajā izlādē parasti tiek izmantota tikai daļa no mākonī uzkrātā lādiņa. Tādēļ zibens var sastāvēt no vairākām atkārtotām izlādēm. Intervāli starp izlādēm ilgst 0,01 s. Jauns līderis no mākoņa sasniedz zemi pa pirmā līdera ceļu, kur vēl saglabājusies zināma jonizācija. Tāpēc jaunajam līderim nav jāveido ceļš, un tas kustas nepārtraukti. Tas ir nepārtrauktais jeb bultveida līderis, kas kā bulta noiet savu ceļu ar vienmērīgu ātrumu. Pēc bultveida līdera atkal seko galvenās strāvas impulss, kas izplatās pa atjaunoto kanālu. Atkārtoto izlāžu skaits var būt vairāki desmiti, novērots arī ap 40 impulsu. Daudzkāršā zibens ilgstība dažkārt pārsniedz vienu sekundi. Tad vēja iespaidā var notikt izlādes kanāla pārbīde un veidoties lentveida zibens. Ja zibens izlāde notiek starp mākoņiem, tad parasti veidojas tikai nepārtraukta veida līdera stadija. Šāda zibens garums var būt ļoti liels un sasniegt pat 150 km.

Aplūkotā zibens attīstības aina ir nedaudz vienkāršota. Šķēršļotā apvidū (augstas celtnes, koki un citi objekti) izlāde var attīstīties no zemes. Šādā situācijā, līderim sasniedzot mākonī, iestājas patstāvīgā izlādes fāze, kas ir ilgstošāka nekā iepriekš aplūkotajā gadījumā. Turpmākās izlādes fāzes ievada bultveida līderis, kurš kustas virzienā uz zemi.

Nenoskaidrots palika jautājums, kāpēc notiek dažādas zīmes lādiņu nošķiršana mākoņos. Šis jautājums ir visai complicēts un ir vairāki tā skaidrojumi. Pastāv vairāk nekā desmit dažādu mehānismu, kuru ietekmē telpiski tiek atdalītas pretējas zīmes lādētās daļiņas. Uz šo mehānismu pamata izstrādātas vairākas hipotēzes. Aplūkosim dažas no tām.

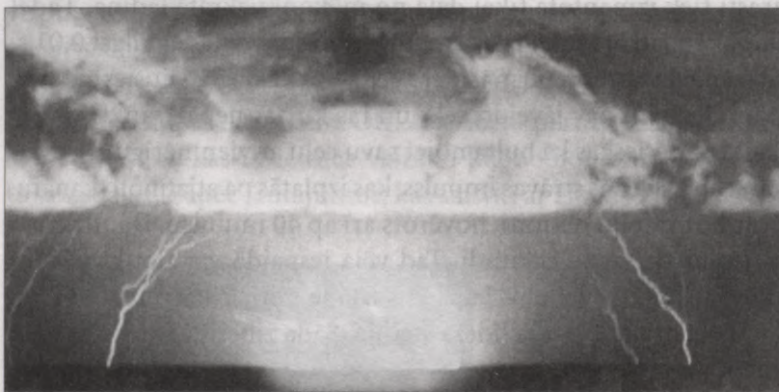
Populārākās ir divas hipotēzes. Vēsturiski pirmo 1885. gadā izvirzīja vācu fiziķi J. Elsters un H. Geitels. Šī, tā sauktā nokrišņu hipotēze, balstās uz faktu, ka lieli pilieni strauji krīt zemē, bet mazie pilieni kavējas gaisā un tos aiznes vējš. Šādu parādību var labi novērot dārza smidzinātājos. Saduroties ar mazajiem pilieniem, lieli krītošie pilieni uzlādējas negatīvi. Tas ir imesls, kāpēc negaisa mākoņa apakšdaļa uzlādējas negatīvi.

Kāpēc lieli pilieni uzlādējas negatīvi, populārā veidā varētu skaidrot šādi.

- Zeme attiecībā pret jonosfēru ir lādēta negatīvi. Ūdens piliens Zemes elektriskajā laukā ir polarizēts: piliena augšējā daļa ir negatīvi lādēta, bet apakšējā – pozitīvi. Kritot lejā, ūdens piliens savā ceļā satiks gan pozitīvos, gan negatīvos jonus. Piliena priekšdaļa ir pozitīvi lādēta, tādēļ tā atgrūdis pozitīvos jonus, bet pievilks – negatīvos. Piliena augšdaļa, kas lādēta negatīvi, nepagūs uzvert pozitīvos jonus, jo gaisa joni ir mazkustīgi, bet piliena krišanas ātrums liels. Tādēļ pilieni krišanas procesā iegūst negatīvu elektrisko lādiņu. Tas ir viens no faktoriem, kāpēc mākoņa apakšdaļa uzlādējas negatīvi.

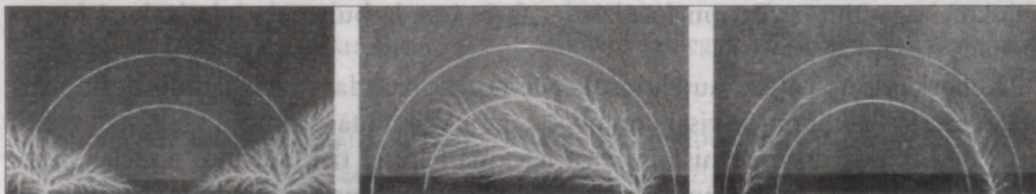
- Atgrūstie pozitīvie lādiņi var nokļūt augšup ejošās gaisa masās un tikt uznesti mākoņa augšdaļā. Tad mākoņa augšdaļa tiks elektrizēta pozitīvi.

Konvekcijas hipotēzi neatkarīgi viens no otra formulēja G. Grenets (Parīzes universitātē 1947. gadā) un B. Voneguts (Ņujorkas universitātē 1953. gadā). Konvekcijas modelis balstās uz pieņēmumu, ka elektriskie lādiņi rodas divos procesos. Pirmais no tiem ir kosmisko staru iedarbība virs mākoņiem. Otrs – koronas izlāde no zemes virsmas



Ūdeņraža bumbas “IVY MIKE” izmēģinājums 1952. gadā. Bumbas jauda – 10 megatonnu. Pirmajā 10 milisekundēs pēc bumbas eksplozijas veidojās zibens izlāde. Šajā gadījumā lādiņu nošķiršanu var skaidrot šādi. Eksplozijā rodas spēcīgs γ starojums.

Komptona izkliedes dēļ γ starojums jonizē gaisa sastāvā esošās molekulas. Vieglie un kustīgie elektroni strauji attālinās no molekulām, kuras pārtapušas par pozitīviem joniem un ir mazkustīgas



Eksplozijas procesa simetrija ļauj lādiņu nošķiršanas procesu modelēt laboratorijas apstākļos. Attēlā parādīti eksperimentu rezultāti, kas iegūti Masačūsetsas Tehnoloģiskā institūta Augstsprieguma laboratorijā. Eksperimentos elektrisko lādiņu inžektēja modeļa, kurš izgatavots no dielektriķa, dažādās vietās. Elektriskais lauks “zemes” tuvumā visos modeļos bija vienāds, bet atšķirīgs bija lādiņu sadalījums. Tikai trešais modelis deva tādu zibens trajektoriju, kāda bija bumbas “IVY – MIKE” eksplozijā. Tas liecina par to, ka zibens konfigurāciju pamatā nosaka lādiņu sadalījums, nevis lauka konfigurācija. Zibens rodas tajā “zemes” vietā, kur ir liela elektriskā lauka intensitāte, un izplatās uz augšu rajonos, kur koncentrēts liels negatīvais lādiņš



Augšā – 1963. gadā Atlantikas zemūdens kalnu grēdā dienvidos no Islandes vulkāna izvirdumā rodas jauna sala



Pa kreisi – 1983. gada 30. augustā zibens iespēra netālu no kosmiskā kuģa “Space Shuttle” starta laukuma Džona Kenedija vārdā nosauktajā kosmiskajā centrā Floridā. Laimīgā kārtā kuģis netika bojāts, un tas startēja paredzētajā laikā (NASA)

Katru dienu uz Zemes notiek ap 40 000 negaisu un 8 miljoni zibens izlāžu. ASV no zibens spērieniem katru gadu iet bojā ap 150 cilvēku. Zibens nodarītie materiālie zaudējumi sasniedz 20 miljonus dolāru gadā. Zibens ir arī apmēram 10 000 mežu ugunsgrēku cēlonis, nodarot 30 miljonus dolāru lielus zaudējumus

objektiem, kas rada pozitīvos jonus. Pozitīvos jonus siltās gaisa strāvas nes augšup. Siltās gaisa strāvas izpilda tādu pašu uzdevumu kā kustīgā lente Vandergrāfa ģeneratorā.

Pirmie novērojumi nedeva viennozīmīgu atbildi uz jautājumu, kādi lādiņi atrodas mākoņa augšpusē: pozitīvie vai negatīvie. Šis jautājums izraisīja polemiku starp Č. Vilsonu un Dž. Simpsonu. Vilsons 20. gadsimta 20. gados, novērojot negaisa mākoņus no liela attāluma, secināja, ka to augšdaļa ir lādēta pozitīvi, bet apakšdaļa – negatīvi. Simpsons apmēram tai pašā laikā, mērot lietus pārnesto lādiņu, izvirzīja pretēja rakstura hipotēzi, ka negaisa mākoņa apakšdaļa ir pozitīvi lādēta, bet augšdaļa – negatīvi. Šo strīdu atrisināja pēdējo gadu pētījumi.

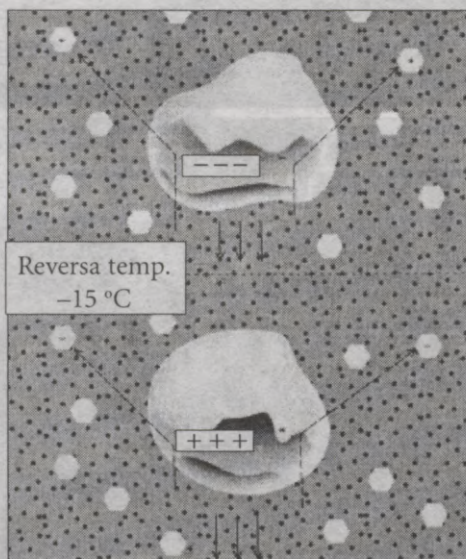
Negaisa mākoņiem ir trīs slāņu struktūra. Mākoņa centrā ir izvietota negatīvā lādiņa zona. Tai ir plakana forma, kas vertikālā virzienā nesasniedz pat kilometru, bet horizontālā virzienā var stiepties daudzus kilometrus. Negatīvā lādiņa slānis izvietots 6 km augstumā, kur gaisa temperatūra ir ap -15°C . Šādā augstumā ūdens var atrasties visās trīs fāzēs: pārdzesēta ūdens, ledus un tvaiku veidā.

Augšējā pozitīvi lādētā zona aizņem lielu tilpumu, un šā slāņa biezums var būt vairāki kilometri. Pozitīvā lādiņa apakšējais slānis ir neliels, tādēļ elektrisko lauku galvenokārt formē negatīvā lādiņa zona. Negaisa mākoņa trīs slāņu struktūra ļauj izskaidrot Vilsona un Simpsona pētījumu rezultātus. Vilsons izdarīja pētījumus no liela attāluma, tādēļ apakšējā nelielā pozitīvi lādētā slāņa iespaids netika reģistrēts. Savukārt Simpsons mērījumus izdarīja zem paša mākoņa. Viņa instrumenti reģistrēja apakšējo pozitīvo lādiņu, taču nekonstatēja augšējo pozitīvā lādiņa zonu, kuru ekranēja negatīvais lādiņš.

Nokrišņu hipotēze vēlāk tika modificēta, ievērojot apakšējā pozitīvā slāņa pastāvēšanu. Ievēroja arī faktu, ka lietus parasti satur pozitīvu lādiņu. Šos novērojumus pirmais mēģināja pamatot Simpsons. Ūdenskritumu šļakatu pētījumi parādīja, ka lielo pilienu sašķelšanās procesā tie uzlādējas pozitīvi.



Zibens var sastāvēt no vairākām atkārtotām izlādēm. Intervāli starp izlādēm ilgst 0,01 s. Uzņēmums izdarīts uz kustīgas filmas



Būtiska nozīme ir ledus kristālu un sniega pārslu savstarpējam sadursmēm. Ja temperatūra ir zemāka par kritisko, ko nosauc par reversa temperatūru, tad sniegpārslas uzlādējas negatīvi. Ja temperatūra ir augstāka par reversa temperatūru, tad – pozitīvi. Lādiņu reversa temperatūra nav precīzi noteikta. Tā varētu būt starp -20°C un -10°C

Simpsons pieļāva, ka lietus pilieni negaisa mākonī arī sašķeļas sīkākos pilienos un uzlādē mākoņa apakšdaļu pozitīvi. Pēdējā laika pētījumi rādīja, ka pozitīvi lādētās daļiņas, kas atrodas zem galvenā negatīvā lādiņa, ir ledus kristāli. Eksperimentāli pierādīts, ka, ledus daļiņām kūstot, tās uzlādējas pozitīvi. Ar šo mehānismu var izskaidrot pozitīvo daļiņu esamību mērenā joslā 4000 metru augstumā, kur ledus sāk kust. Tas neizskaidro pozitīvo lādiņu pastāvēšanu lielā augstumā.

Negaisa mākoņu pētījumi liecina, ka negatīvi lādētais slānis atrodas tādā augstumā, kur temperatūra ir ap -15°C . Lādiņa reversa hipotēze izskaidro, kāpēc apakšējos slāņos samazinās negatīvais lādiņš. Šeit temperatūra ir augstāka un krītošās sniega pārslas, saduroties ar ledus kristāliņiem, iegūst pozitīvu lādiņu. Pozitīvi lādētās daļiņas veido mākoņa trīs slāņu struktūras apakšējo pozitīvi lādēto slāni.

Lādiņu pārnese mikrofizika un reversa temperatūras pastāvēšana vēl pilnībā nav izskaidrota. Iespējams, ka šo parādību pamatā ir mehānisms, kas analogisks stikla nūjiņas uzlādēšanai, beržot to ar vilnas audumu.

Neraugoties uz to, ka konvekcijas hipotēze nenovērtē apakšējā pozitīvi lādētā slāņa lomu, ir novērojumi, kas liecina par labu šai hipotēzei. Pētījumi rāda, ka negaiss ir piesaistīts gaisa konvekcijas zonām. Zibens visbiežāk uzliesmo sniegpārslu un krusas graudu augšupejošās plūsmās virs negatīvi lādētā pamatslāņa. Šis fakts ir pretrunā ar nokrišņu hipotēzi, kura apgalvo, ka elektrizāciju izraisa sniegpārslu un krusas graudu lejup vērsta kustība.

Svarīgi, lai ledus kristāliņi paceltos augšup attiecībā pret zemi ātrāk par sniegpārslām. Tādā gadījumā spēcīgas augšup ejošās strāvas piegādā pārdzesēta ūdens pilienus rajonā virs lādiņa reversa zonas. Šie pilieni nodrošina sniegpārslu un krusas graudu veidošanos, palielināšanos un elektrizāciju.

Pēdējā laikā pastiprinātu interesi izraisa uz leju ejošās gaisa plūsmas. Uzskata, ka tās var būt daudzu civilās aviācijas katastrofu cēlonis. Pētījumi parādīja, ka spēcīgas lejup ejošās strāvas rodas 5 – 10 minūtes pēc tam, kad augšup ejošās plūsmas un negaisa aktivitāte sasniegusi savu maksimumu. Lejup ejošās plūsmas saistītas ar bagātīgiem nokrišņiem. Šajā laikā zemes potenciāls maina savu polaritāti. Tas liek domāt, ka mākoņa apakšdaļas pozitīvais lādiņš pārvietojas uz zemi.

Bez jau minētajiem mākoņa uzlādēšanā līdzdarbojas arī citi procesi.

- Mākoņos pastāv gan ūdens pilieni, gan ledus kristāli. Starp šīm daļiņām, pateicoties izejas darba atšķirībai, rodas potenciāla starpība un noslāņošanās.
- Pozitīvo un negatīvo jonu masas var būt atšķirīgas, tādēļ var notikt šo jonu noslāņošanās atkarībā no masas.

Pērkona negaiss visbiežāk plūš tropiskajos un ekvatoriālajos apgabalos. Javas salā ir rajons, kur negaiss trako 322 dienas gadā. Uz ziemeļiem un dienvidiem negaisa dienu skaits samazinās. Etiopijas dienviddaļā pērkona negaiss ir 220 dienu gadā, Meksikā – 140 dienu, mērenajā joslā no 30 līdz 40 dienām, bet aiz polārā loka tikai 1 vai 2 dienas gadā. Sahāras tuksnesī, kur maz mitruma, pērkona negaiss uzņāk ļoti reti. Vidēji katru diennakti uz Zemes notiek ap 40 000 negaisu, bet Zemes virsma katru sekundi saņem ap 1800 zibeņu. Zibens pārnestsais lādiņš ir 20 – 100 kulonu, tādēļ Zeme katru mirkli

iegūst ievērojamu negatīvu lādiņu. Vienlaikus negaisa laikā rodas strāvas no asiem virszemes objektiem (svētā Elma ugunis), kas aizvada pozitīvo lādiņu no Zemes virsmas. Rodas jautājums, kādēļ Zemes elektriskais lādiņš paliek nemainīgs. Acīmredzot Zemes virsmas negatīvā lādiņa zudumu tajos rajonos, kur laiks ir skaidrs, kompensē negatīvā lādiņa pieplūdums negaisa rajonos.

Bet kāpēc Zemei ir lādiņš un kāpēc tas ir negatīvs? Pēc Jakova Frenkeļa domām, sākumā neliels lādiņš radies gadījuma dēļ. Pēc tam tas palielinājies zibens darbības dēļ, kamēr iestājies dinamisks līdzsvars. Ja Zemes lādiņš sākumā būtu bijis pozitīvs, tad ūdens pilieni polarizētos pretējā veidā. Zeme ar zibeni saņemtu pozitīvu lādiņu. Pozitīvā un negatīvā lādiņa lomas mainītos, bet pārējais notiktu tāpat kā tagad.

Vēl jāpiebilst, ka zibens darbības dēļ atmosfērā veidojas dažādi ķīmiski savienojumi. To skaitā – ozons un slāpekļa oksīdi. Uzskata, ka zibenim bijusi svarīga loma arī organisku vielu sintēzē, kas veicinājusi dažādu dzīvības formu rašanos uz Zemes.

Indijas zinātnieki Kašmiras Atompētniecības centrā konstatēja, ka zibens izlādē var rasties neitroni. Himalajos 2743 metru augstumā virs jūras līmeņa ierīkoja neitronu detektoru, kurš ieslēdzas, ja jutīgā aparātūra tuvumā reģistrēja zibeni. Trīs gadu laikā konstatēja vairāk par 11 000 zibeņu un 124 gadījumos detektors reģistrēja neitronus. Šo neitronu izcelsme nav viennozīmīgi noskaidrota. Zinātnieki pieļauj, ka temperatūrās, kādas eksistē zibens izlādes kanālā, var notikt kodolsintēzes reakcijas, apvienojoties diviem smagā ūdeņraža kodoliem. Smagais ūdeņradis nelielā daudzumā ir sastopams atmosfērā. Reakcijā rodas hēlija izotops $^3\text{He}_2$ un atbrīvojas viens neitrons.

Lodveida zibens. Samērā nesen, apmēram pirms 30 gadiem, zinātnieki atklāti atzina, ka lodveida zibens ir gandrīz vai vienīgā Zemes atmosfēras parādība, kurai nav ticama izskaidrojuma. Lodveida zibens ir spožs lodveida formas veidojums, kas brīvi pārvietojas gaisā. Lodveida zibens vienmēr pārsteidz ar savu neparasto izskatu, mīklaino parādīšanos un nozušanu. Vairāku gadsimtu laikā ir uzkrāta samērā bagātīga informācija un tagad ar zināmu pārliecību ir iespējams spriest par lodveida zibens dažādiem parametriem. Galveno parametru ticamākās vērtības norādītas tabulā.

Diametrs, cm	24 – 32	Enerģijas blīvums, J/cm ³	2 – 20
Dzīves laiks, s	5 – 16	Enerģijas starojums redzamā spektra daļā, J	7 – 50
Kustības ātrums, m/s	3 – 5	Gaismas plūsma, lm	700 – 2400
Enerģija, kJ	12 – 32	Gaismas atdeve, lm/W	0,15 – 2,5
Temperatūra, K	2000 – 3000	Parādīšanās sezona	80% jūlijā, augustā

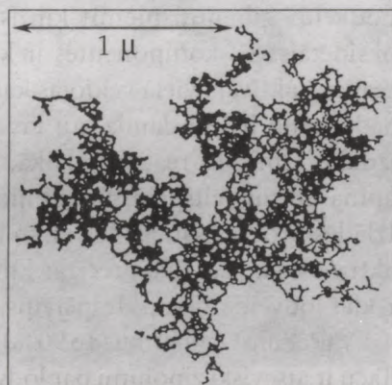
Lodveida zibens krāsa var būt balta (24% gadījumu), dzeltena (24%), sarkana (18%), zila vai violeta (12%). Pārējos gadījumos informācijas trūkst. Lodveida zibeni pārsvarā novēro vasarā negaisa laikā. 50% gadījumu tas izzūd eksplodējot, pārējos gadījumos lēnām dziest vai sabrūk daļās. Lodveida zibens enerģiju novērtēja pēc tā izraisītās termiskās, mehāniskās un ķīmiskās iedarbības. Tā mainās plašās robežās: no viena līdz dažiem tūkstošiem kilodžoulu. Vidējā vērtība ir ap 20 kJ. Iegūtā informācija ļauj izvirzīt dažādus lodveida zibens modeļus. Modeļu pamatā ir divi pieņēmumi.

- Lodveida zibens saņem enerģiju no ārēja enerģijas avota.
- Ārējs enerģijas avots nepastāv, enerģija uzkrāta pašā lodveida zibenī.

Pirmo variantu izvirzīja krievu fiziķis Pjotrs Kapica (1894 – 1984). Tas eksperimentāli nav apstiprinājies. Otrajam variantam var būt divi gadījumi. Plazmas modeļa gadījumā enerģija uzkrāta lādētajās daļiņās, un tā atbrīvojas lādēto daļiņu rekombinācijas procesā. Otrajā gadījumā enerģija atbrīvojas ķīmiskā reakcijā. Aprēķini rāda, ka pirmajā gadījumā, t. i., plazmas modelim, dzīves laiks būtu ļoti īss, kas praksē neapstiprinās. Atliek pieņemt, ka lodveida zibens satur ķīmisko enerģiju. Ir tādas ķīmiskās reakcijas, kas noris pietiekami lēnām, piemēram, ozona sabrukšanas process ne sevišķi augstā temperatūrā. Viens no iespējamiem mehānismiem var būt ozona molekulas mijiedarbība ar porainas struktūras cietu ķermeni, piemēram, kokogles pulvera sadegšana ozonā, kas absorbējies oglē. Atkarībā no siltuma aizvadišanas efektivitātes šāda tipa process var attīstīties dažādi. Ja reakcijas zonā izdalītā enerģija netiek pietiekami strauji aizvadīta, tad process beidzas ar eksploziju. Ja siltuma aizvadišana ir pietiekami efektīva, tad sistēma pēc iekšējās enerģijas iztērēšanas atdziest vai arī lēnām sabruk. Novērtējumi rāda, ka lodveida zibens nevar būt ne gāzes, ne putekļu veidojums, jo izdalītais siltums radītu plūsmas un veidojums sabruktu sekundes daļas laikā.

Ticamu lodveida zibens struktūras risinājumu atrada Sanktpēterburgas zinātnieki V. Aleksandrovs, E. Golubevs un I. Podmošenskijs. Viņi pieņēma, ka lodveida zibens aktīvo vielu veido pavedienvēidīgs aerosols. Tādu struktūru gaisa konvekcijas plūsmas nesagrauj. Tas secināts, pētot metālu tvaiku atdzišanu, kur novēroja līdzīgas struktūras. Starpetapā pirms cietu metāla kristālu rašanās veidojas īpatnēja zaraina struktūra – fraktālais klusters. Klusters (angl. *cluster* – saišķis) ir irdena liela skaita savstarpēji vāji saistītu atomu vai molekulu sistēma. Klusters ieņem starpstāvokli starp van der Vālsa molekulām un aerosoliem. Klasteri efektīvi veidojas pārsātinātos tvaikos, gāzu izplūdēs no sprauslām, dūmu daļiņu vai citu cietu aerosolu asociācijas procesā, tas ir starpstāvoklis, veidojoties šķidrums pilieniem. Šādas struktūras intensīvi pētītas pēdējos gados, un to pamatīpašības izdevās izprast ar matemātiskās modelēšanas palīdzību.

Klusters ir vienīgā struktūra, kas spēj vienlaikus nodrošināt lodveida zibens vieglumu un karkasa stabilitāti. Siltuma izdalīšanās nodrošina gaisa konvekciju, tādēļ rodas cēlējspēks un lodveida zibens var brīvi “peldēt” gaisā. Veiktie modeļeksperimenti parādīja, ka volframa stieples, kuras rādiuss ir 4 – 7 μm, saišķis noturas gaisā, ja temperatūras starpība saišķa iekšpusē un ārpusē ir 100 grādu. Ja klusters sastāv no koka ogles, kuras masa ir 0,9 g, gaisa masa 5,4 g, tad tā enerģija ir 25 kJ, kas atbilst novērotām



Zelta fraktālā klastera fotogrāfija elektronu mikroskopā. Šā eksperimenta pirmajā stadijā veidojas zelta daļiņas, kuru diametri ir 14,5 nm. Pēc virsmas lādiņa noņemšanas daļiņas apvienojas fraktālā klasterā, kuru izsēdina uz speciāla sietiņa un fotografē. Klastera izmērs 1,77 μm

vērtībām. Lodveida zibens mirdzēšana ir analogiska pirotehnisko materiālu degšanai. Piemēram, pirotehnikā dzeltenu gaismu iegūst, sadedzinot šādu sastāvu: KNO_3 – 37%, $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ – 30%, Mo – 30%, sveķi – 3%. Šāda sastāva siltumatdeve ir 6 kJ/g, degšanas temperatūra 2500 – 3000 K, bet gaismas atdeve 8 lm/W.

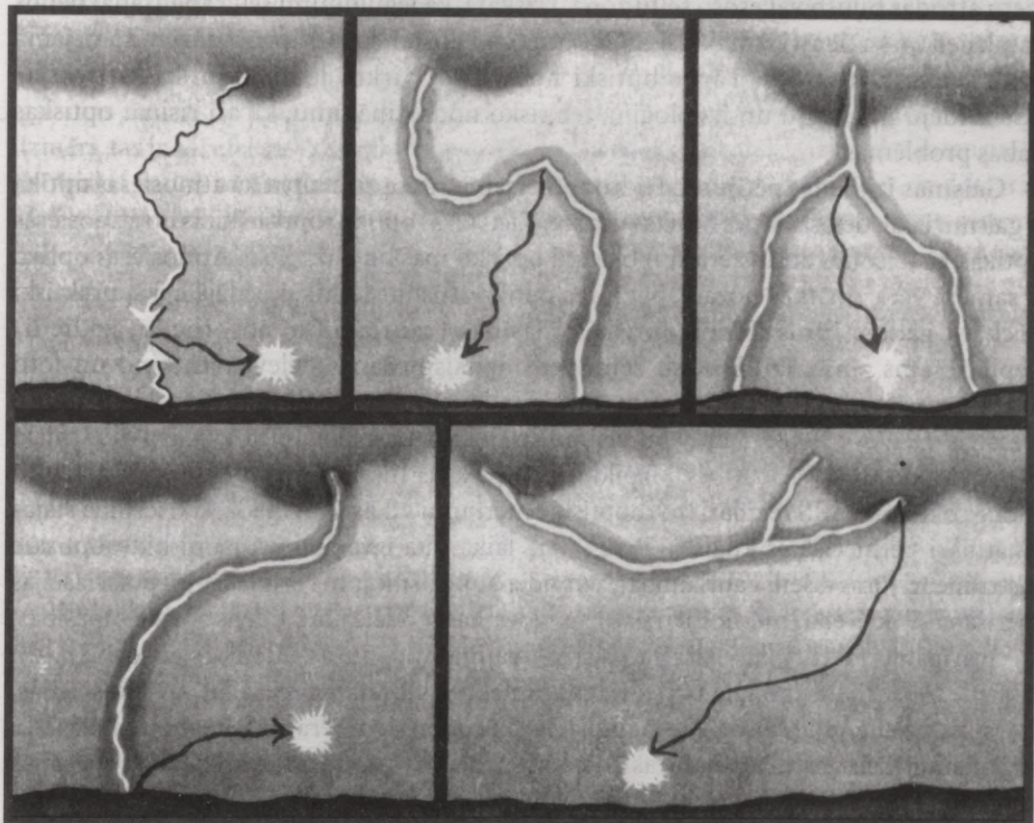
Novērojumi liecina, ka lodveida zibenim ir ievērojams elektriskais potenciāls. Fraktālais klusters formējas, apvienojoties cietām daļiņām. Gaisā šīs daļiņas ir negatīvi lādētas, jo negatīvo jonu kustīgums ir lielāks par pozitīvo jonu kustīgumu. Šā apstākļa dēļ fraktālā klastera lādiņš ir negatīvs. Ja fraktālā klastera rādiuss ir 10 cm un lādiņš $3,3 \cdot 10^{-7}$ kulonu, tad tā potenciāls sasniedz 30 kV.

Rezumējot sacīto, var uzskatīt, ka principā jautājums par lodveida zibens dabu ir atrisināts, balstoties uz novērojumu datiem un šīs parādības atsevišķu detaļu modelēšanas rezultātiem. Lodveida zibens satur vieglu stingru klastera struktūras karkasu, kas veidots no maza izmēra cietām daļiņām. Aerosola daļiņas nokļūst plazmā, kas atrodas ārējā elektriskā laukā, un tāpēc šīm daļiņām ir noteiktas zīmes lādiņš. Plazmas joni pielīp daļiņām, kuras apvienojas klasterā. Novērtējums rāda, ka daļiņu lādiņi būtiski neietekmē apvienošanās procesu. Klastera formēšanās procesā lādiņš izvietojas uz klastera virsmas, veidojot virsmas spraigumspēku. Tas nodrošina klastera stabilitāti. Lodveida zibenim piemīt ķīmiskas dabas enerģija. Tā sastāvā ietilpst degviela un oksidētājs. Šīs komponentes ir karkasa sastāvā vai arī izvietotas tā porās. Ķīmiskajā reakcijā aktīvajā vielā veidojas karstās zonas, kur temperatūra sasniedz 2000 – 3000 K. Šādu zonu ir ļoti daudz, un tas ir lodveida zibens mirdzēšanas cēlonis. Siltums, kas izdalās ķīmiskās reakcijas laikā, izraisa gaisa konvekcijas plūsmas. Tās rada siltuma apmaiņu un celtspēju. Izveidojies klusters izlādējas ar atmosfēras jonu starpniecību. Izlādes procesā samazinās virsmas spraigums, tāpēc klusters sabrūk. Vēl nav zināmas aktīvās vielas sastāva precīzas ķīmiskās formulas un to apstākļu raksturlielumi, kuros rodas lodveida zibens. Iespējams, ka ir dažādi varianti.

Vairākumā gadījumu (ap 90%) lodveida zibens rodas negaisa laikā pēc līnijveida zibens. Taču ir atsevišķi ziņojumi par lodveida zibens novērojumiem skaidrā laikā. Iespējams, ka lodveida zibens var rasties, kad pakāpienveida līderis sastopas ar no zemes pretim nākošo strīmeru. Labvēlīgi apstākļi lodveida zibens veidošanai var rasties arī vietā, kur līnijveida zibens sazarojas vai asi maina virzienu. Ir informācija, ka lodveida zibens rodas brīdī, kad līnijveida zibens skar zemi, ūdeni vai kādu citu objektu. Novērots, ka lodveida zibens “izpeld” pat no telefonaparāta, radioaparāta un elektriskā tīkla kontakrozetes.

Traģisks gadījums risinājās 1752. gada 26. jūlijā. Pēterburgā jau no paša rīta bija karsts un smacīgs. Ap pusdienlaiku savilkās negaiss. Pēterburgas Zinātņu akadēmijas fizikas laboratorijā profesors Georgs Rihmans gatavojās jau agrāk ieplānotam eksperimentam. Viņš gribēja pārbaudīt nesen izgudroto ierīci atmosfēras elektriskā lauka mērīšanai. Laboratorijā bez Rihmana vēl atradās viņa draugs – gravieris. Cilvēki, kas tobrīd atradās uz ielas laboratorijas tuvumā, redzēja, ka metāla stienī uz laboratorijas jumta iespēra zibens. Tajā pašā brīdī no laboratorijas atskanēja skaļi kliegzieni. Mirkli, kad stienī iespēra zibens, no pārbaudāmās iekārtas atdalījās dūres lieluma zili mirdzoša lode. Tā trāpīja pussoļa attālumā stāvošā Rihmana pierē. Atskanēja skaļš sprakšķis.

Rihmans acumirkli zaudēja dzīvību, bet sakarsēts vads no iekārtas aizdedzināja graviera apģērbu. Šo notikumu aprakstījis Lomonosovs, kurš apmeklēja laboratoriju tūlīt pēc nelaiemes gadījuma un sīki iepazīnās ar notikuma sekām.



Lodveida zibens var rasties, kad pakāpienveida lideris sastop no zemes pretim nākošo strimeru, un vietā, kur līnijveida zibens sazarojas vai asi maina virzienu. Ir informācija, ka lodveida zibens rodas brīdī, kad līnijveida zibens skar zemi, ūdeni vai kādu citu objektu

4. 12. Jūras optika

Okeāns aizņem Zemes virsmas lielāko daļu – 361 miljonu km², sauszeme – 149 miljonus km². Cilvēks ir pabijis uz Mēness, kosmiskās stacijas ievākušas bagātīgu informāciju par visām Saules sistēmas planētām, taču par okeāna pētīšanu amerikāņu okeanologs Rodžers Revels nesēn sacīja: “Okeāna dibens ir mazāk izpētīts par Mēness virsmu.”

Zinātnieki jūras dibenu iedala vairākās zonās. Jūras dibena zonas, kas tieši piekļaujas kontinentiem, sauc par kontinentālajiem šelfiem. Šelfa zona stiepjas no krasta līnijas līdz apmēram 200 m dziļumam. Šī zona pēc platības nav mazāka par Āfriku. Šelfs izvietots nevienmērīgi. Klusā okeāna Amerikas piekrastē praktiski nav šelfa, tai pašā laikā liela daļa no Ziemeļu, Baltijas un Kaspījas jūras, kā arī Persijas un Meksikas līči ietilpst šajā zonā.

Šelfa lielākā daļa ir klāta ar rupjām nogulsnēm, kas veidojušās upju darbības un jūras krastu izskalošanas procesā. Gadu tūkstošos paisuma–bēguma straumes aizskalojušas vieglās daļiņas, bet smagās nogulsnējušās šelfa dibenā, veidojot iegulas ar dažādu vērtīgu materiālu paaugstinātu koncentrāciju. Tāpēc liela daļa derīgo izrakteņu vietu atrodas bijušo vai esošo šelfu zonā. Uzskata, ka ieguldījumi šelfa apgūšanai nebūs pārāk lieli un ka tie ātri atmaksāsies. Okeānu (un šelfa tai skaitā) apgūšana nav domājama bez cilvēku klātbūtnes. Tāpēc būtiski noskaidrot virkni jautājumu, kas saistīti ar ūdenslidēju medicīnu un fizioloģiju, tehnisko nodrošinājumu, kā arī risināt optiskas dabas problēmas.

Gaismas izkliedes pētījumi. Hidrooptika jeb jūras optika tāpat kā atmosfēras optika ir gaismu izkliedējošas vides optikas nozare. Taču jūras optika stipri atšķiras no atmosfēras optikas, pateicoties atmosfēras un okeānu optisko īpašību dažādībai. Atmosfēras optika ir samērā veca zinātnes nozare, bet jūras optika attīstījies tikai pēdējā laikā, praktiski pēckara gados. Jūras ūdens optiskās īpašības (caurlaidību, absorbciju, izkliedi) nepieciešams zināt, lai risinātu zemūdens apgaismošanas, televīzijas, kino un foto aparātūras izveidošanas un izmantošanas u. c. jautājumus. Plaši jūras optiskie pētījumi aizsākās 1947. – 1948. gadā, kad ceļojumu apkārt pasaulei veica zviedru zinātniski pētnieciskais kuģis “Albatross”, izpildot kompleksus mērījumus Atlantijas, Klusajā un Indijas okeānā. PSRS regulāri hidrooptiskie mērījumi sākās 1949. gadā, kad ierindā stājās zinātniski pētnieciskais kuģis “Vitjaz”. Tajā laikā tika izveidoti arī jauni hidrooptiskie instrumenti jūras ūdens caurlaidības, zemūdens apgaismojuma, izkliedes un polarizācijas mērīšanai. Tika veikti mērījumi mākslīgās vidēs, kas modelē jūras ūdens optiskās īpašības.

Svarīgākie faktori, kas izraisa gaismas vājināšanos jūras ūdenī, ir absorbcija un izkliede. Absorbētā enerģija pāriet ūdens molekulu vibrācijas, rotācijas vai translācijas, t. i., siltuma enerģijā. Absorbētā enerģija nosaka ūdens temperatūru, kustību un dažādu organismu eksistēšanu jūrās. Jūras ūdens absorbcijas process ir sarežģīts. Daļu enerģijas absorbē jūrā mītošo fitoplanktonu šūnas, tā tiek izmantota organisko vielu sintēzes reakcijā, daļa absorbējas ūdenī izšķīdušajos sāļos. Visvairāk jūras ūdens satur nātrija, kālija un magnija sāļus. Destilētam ūdenim absorbcijas rādītāja atkarība no viļņu garuma ir zināma.

λ , nm	400	450	500	550	600	650	700
α , m^{-1}	0,0050	0,0013	0,0025	0,0150	0,0910	0,1500	0,2600

Amerikāņu pētnieks E. Halbarts jau 1927. gadā konstatēja, ka sāļi ($NaCl$, KCl , $MgCl_2$, $MgSO_4$, $CaSO_4$) strauji palielina absorbcijas rādītāju ultravioletajā spektra daļā. Organiskie piejaukumi izraisa absorbcijas palielināšanos un selektivitāti dažādos spektra rajonos, kas iespaido ūdens virskārtas temperatūru. Dulķainie ūdeņi sasilst vairāk nekā tīrie. Neorganiskie sāļi maz absorbē spektra redzamajā daļā, šeit galvenā loma ir organiskiem un neorganiskiem piemaisījumiem.

J. Jemeljanovs un K. Šimkus konstatēja, ka $1\ m^3$ Vidusjūras virsējā slāņa ūdenī ir $1,5\ g$ piemaisījumu, kas sastāv no bojā gājušu organismu daļiņām un putekļiem, ko jūrā ienes upes un vējš. Viens kubikmetrs ūdens satur 250 miljonus neorganisko daļiņu, kuru

izmēri ir robežās no 1 μm līdz 5 μm , bet organisko daļiņu šādā ūdens daudzumā ir 135 miljoni. Tādēļ jūras ūdens attiecībā pret gaismu, kas tajā izplatās, ir duļķaina vide.

Pirmais gaismas izplatīšanos duļķainā vidē 1868. gadā pētīja angļu fiziķis Džons Tindāls. Tādēļ šo parādību dēvē par Tindāla efektu. Vēlāk, 1908. gadā, vācu zinātnieks Gustavs Mī (1868 – 1957) pētīja gaismas izkliedi ūdenī, kur disperģētas sīkas zelta daļiņas. Viņš izstrādāja izkļiedes teoriju daļiņām, kuru izmēri ir lielāki par izkļiedētās gaismas viļņu garumu. Lielas daļiņas gaismu izkļiedē galvenokārt uz priekšu, un tikai neliela gaismas daļa izkļiedējas atpakaļ. Uz priekšu izkļiedētās gaismas intensitāti nosaka daļiņu izmēri, tas ir Mī efekts. V. Šuleikins izskaitļoja izkļiedes indikatrīsi (izkļiedes intensitātes leņķisko sadalījumu) lielām daļiņām. Palielinoties daļiņu izmēriem, indikatrīse deformējas virzienā uz priekšu un mainās izkļiedes intensitātes atkarība no viļņu garuma. Releja izkļiedē izkļiedētās gaismas intensitāte $I \sim 1/\lambda^4$, Mī izkļiedē pakāpes rādītājs samazinās, palielinoties daļiņu izmēriem.

Pakāpes rādītājs	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5
Daļiņu izmēri, μm	0,07	0,10	0,15	0,23	0,30	0,35

Ja daļiņu izmēri ir ar gaismas viļņu garuma kārtu, tad izkļiede vairs nav selektīva, visu viļņu garumu gaisma izkļiedējas vienādi. Ja ir zināma izkļiedes indikatrīse, tad var pētīt ūdenī esošo daļiņu izmērus, iegremdējot jūrā speciālu aparātu – nefelometru. Pēdējā laikā izkļiedes indikatrīses mērīšanai nefelometros izmanto lāzerus, kas ļauj iegūt intensīvu monohromatisku staru kūli un vienkāršot nefelometra optisko shēmu.

Dabiskās gaismas izkļiedes process jūrā ir sarežģīts. Saules stari ūdens virsējos slāņos vēl saglabā gaismas virzienu no jūras virsmas uz leju. Bet, dziļumam palielinoties, katrs stars izkļiedes dēļ it kā dalās daudzos staros, kas izplatās visos iespējamajos virzienos. Izkļiedētie stari atkal dalās, līdz kamēr gaisma kļūst pilnīgi izkļiedēta. 1922. gadā Č. Ramans un V. Šuleikins neatkarīgi viens no otra secināja, ka jūras krāsu nosaka absorbcijas un izkļiedes vienlaicīga darbība. Saules gaisma, izplatoties uz leju, izkļiedējas un veido augšup ejošu plūsmu. Ramans, pētot Bengālijas liča caurspīdīgos ūdeņus, ievēroja tikai paša ūdens izkļiedi, neņemot vērā pārējo daļiņu ietekmi. Ramana iegūtās formulas derīgas tikai tīriem okeāna ūdeņiem. Šuleikina teorija ir vispārīgāka, tā ietver sevī Ramana formulas kā speciālu gadījumu.

1923. gadā A. Gamburcevs izveidoja divu diferenciālvienādojumu sistēmu gaismas plūsmām, kas ūdenī izplatās uz leju un uz augšu. Vienādojumu sistēmas risinājums ļauj atrast gaismas plūsmu spektrālo sadalījumu jebkurā dziļumā, tai skaitā arī uz virsmas. Ievietojot Gamburceva vienādojumus atbilstošos jūras ūdens optiskos raksturlielumus (absorbcijas rādītāju, izkļiedes indikatrīses vērtības u. c. lielumus), var atrast no jūras nākošās gaismas plūsmas spektrālo sadalījumu jebkuram pasaules okeāna punktam.

Tiros okeāna ūdeņos uz augšu izplatās galvenokārt molekulāri izkļiedētā gaisma. Pateicoties Releja izkļiedes selektivitātei, okeāna krāsa ir zili violeta. Tīra ūdens caurlaidība ir lielāka zilajā un zili zaļajā spektra daļā. Izkļiedes un absorbcijas dēļ tīrie okeāna ūdeņi ir piesātinātā zilā tonī. Duļķainos ūdeņos molekulārā izkļiede ir niecīga, un augšup ejošā plūsma veidojas izkļiedē lielajās daļiņās, kas nav selektīva. Caurleidības

Izkliedes indikatrišu formas salīdzinājums: 1 – Releja izkliede, 2 – izkliede atmosfērā, 3 – izkliede jūras ūdenī

josla šajos ūdeņos pārvirzās uz dzeltenī zaļo spektra daļu, tādēļ jūras virsma šajā gadījumā ir pelēki zaļā vai pat dzeltenīgā tonī.

1865. gadā itāļu astronoms Andželo Seki Vidusjūrā veica mērījumus ar baltiem un krāsainiem diskiem. Uzska, ka šos diskus jūras ūdens caurlaidības noteikšanai izmantojis Oto Kocebū (1787 – 1846) jau 1815. – 1818. gadā, pētot ziemeļaustrumu jūras ceļu. Kocebū nolaida trosē aiz borta parasto šķīvi un sekoja tā redzamībai dažādās Klusā okeāna vietās. Tagad novērojumi ar baltu standarta disku, kura diametrs ir 30 cm, ir hidrogrāfisko pētījumu sastāvdaļa.

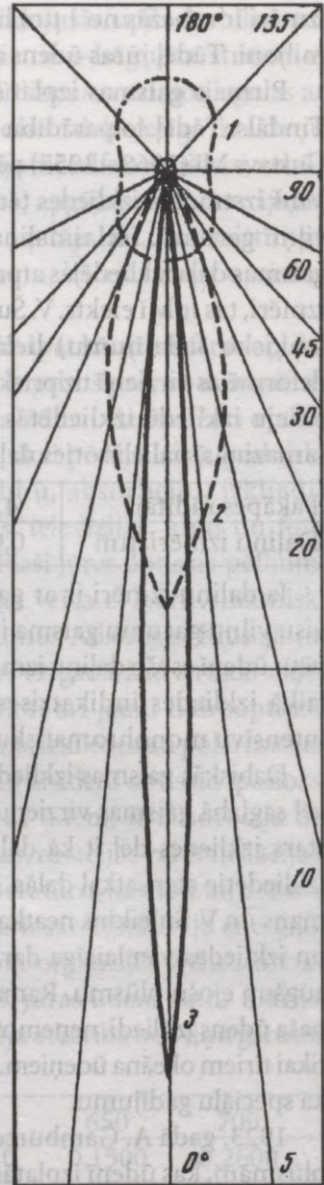
Attālums, kurā redzams Seki disks, nosaukts par relatīvo caurlaidību. Tā mainās samērā plašās robežās: Baltajā jūrā – 8 m, Baltijas jūrā – 13 m, Melnajā jūrā – 25 m, Indijas jūrā – 50 m, Sargasu jūrā – 66,5 m. Sargasu jūra ir Atlantijas okeāna daļa starp Kanāriju un Golfā straumēm. Šis rajons ir nabadzīgs ar barības vielām, šeit ir maz organismu un tādēļ ļoti dzidrs ūdens.

Saules gaisma, protams, iespiežas dziļāk par Seki diska redzamību. Bugērs uzskatīja, ka Saule kļūst neredzama, ja tās gaismu pavājinā $\sim 10^{12}$ reizes. Tiros ūdeņos zili zaļai spektra daļai absorbcijas rādītājs $\alpha = 0,02 \text{ m}^{-1}$. Tad:

$$F_z/F_0 = 10^{-0,02z} = 10^{-12}$$

No šejienes var aprēķināt dziļumu z , kuru vēl sasniedz Saules gaisma: $z = 12/0,02 = 600 \text{ m}$. Neliela gaismas daļa iespiežas arī dziļāk. Gaisma, kas nonāk 750 m dziļumā, ir apmēram 40 kvantu sekundē uz cm^2 . Šis skaitlis ir ļoti tuvs redzes sajūtas absolūtajam sliekšnim. Amerikāņu biologs Viljams Bībe, kurš batiskafā nolaidās 1 km dziļumā, rakstīja: “Tumsa 750 m dziļumā šķita melnāka, nekā var iedomāties, un tomēr 1000 m dziļumā tā šķita melnāka par melnu. Likās, ka visas priekšā stāvošās naktis augšējā pasaulē tiks uztvertas kā krāsas relatīvas pakāpes. Un es nekad vairs nevarēšu lietot vārdu “melns” ar stingru pārliecību.” Novērtējums rāda, ka 1 km dziļumā nonāk apmēram viens gaismas kvants uz 1 cm^2 katrās 5 minūtēs.

Zemūdens pasaules apgūšana. Iepriekšminētais attiecas uz Saules gaismu. Taču nav jādomā, ka okeānā Saule ir vienīgais gaismas avots. 1960. gadā tēva Ogista un dēla Žaka Pikāru radītais batiskafs “Trieste” sasniedza dziļāko okeāna vietu – Marianas dziļvagas dibenu. Šajā un arī iepriekšējos iegremdēšanās gadījumos izdarīti interesanti vērojumi. Žaka Pikāra līdzgaitnieks ģeologs okeanologs un biologs Roberts Dits rakstīja: “Kad mēs izslēdzām prožektorus, apkārtējo tumsu apblāzmoja fosforiscējošo planktonu reti

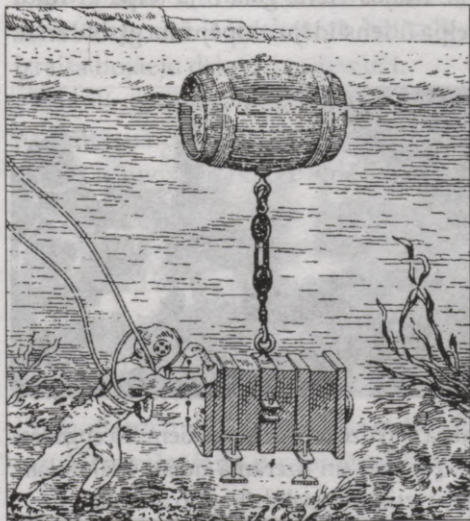


uzliesmojumi. (...) Pacēloties batiskafs izraisa ūdens virpuli... Ūdens virpulis satver mirdzošos organismus. Mēs izslēdzām gaismu, un tumsā ap mums uzliesmoja uguņošana, bengāliskās ugunis, abisālas komētas ar kuplām dzirksteļu astēm. Es centos novērtēt, kur tās ir vairāk. Uguņošana pastiprinājās, tuvojoties virspusei un sasniedza apogeju dziļuma intervālā starp 700 un 500 metriem. Viss ir pareizi: šeit uz krēslas zonas robežas es nolaižoties pamaniņu vislielāko dzīvo būtņu aktivitāti.”

Žaks Pikārs rakstīja: “Plkst. 9.20, 735 metri. Mēs jau gandrīz stundu esam ceļā... Apkārtējā tumsā pa retam uzliesmo spīdošā planktona mirdzums. Temperatūra pazeminājusies līdz 10°C. Plkst. 11.44, 8880 metru. Ja mēs paceltos augšup, tad sasniegtu Everesta virsotni. Ūdens ieguvus kristāldzidrumu. Nekāda zemūdens “sniega”, neviens planktons. Gaisma no centrālā prožektora tiecas tālu tālu lejā, stars izkļiedējas caurspīdīgā ūdenī.” 1960. gada 23. janvārī plkst. 13.06 “Trieste” sasniedza Marianas dziļvagas dibenu 10 916 metru dziļumā.

Pirmo mēģinājumu fotografēt 12 m dziļumā zem ūdens 1866. gadā veica fotogrāfs Bazins. Viņš izmantoja šim nolūkam skārda kabīni ar stikla logu.

Pirmie zemūdens fotouzņēmumi Vidusjūrā izdarīti 1893. gadā. Franču zinātnieks Luijs Butans



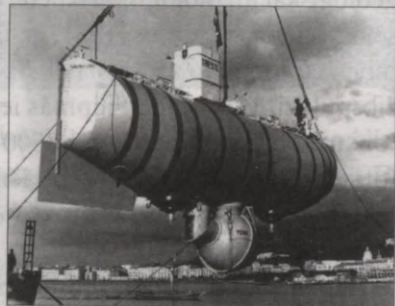
Pa kreisi: pirmie mēģinājumi zemūdens fotografēšanā

Apakšā: okeāna dibena fotogrāfija 1335 m dziļumā.

Uzņēmums izdarīts “Vitjaz” reisā 1957. gadā



Profesors Ogists Pikārs (1884 – 1962) ar dēlu Žaku Pikāru (dz. 1922. g.)



Batiskafs “Trieste”



šim nolūkam konstruēja speciālu fotokameru. Fotografēšanai zem ūdens Butans izmantoja magnēzija liesmu. Lai to iegūtu, bija nepieciešams speciāls stikla kupols, kuram pievadīja skābekli. Viljams Bībe 1934. gadā Bermudā sasniedza 923 m dziļumu un ieguva tajā laikā nepazīstamu organismu uzņēmumus. Tikai 1940. gadā amerikāņu pētniekiem izdevās iegūt pirmos labos fotouzņēmumus lielā dziļumā. Kara laikā viņu fotokameru izmantoja nogrimušu kuģu meklēšanai. Tagad fotokameras izmanto jūras dibena ģeoloģiskai un bioloģiskai izpētei arī sevišķi lielos dziļumos. 1951. gadā amerikāņu zinātnieks Deivids Ouens ieguva okeāna dibena fotogrāfiju no 5500 m liela dziļuma. Amerikāņu ekspedīcija, izmantojot elektrisko zibspuldzi, 1958. gadā Filipīnās ieguva uzņēmumus no 8000 m liela dziļuma. H. Edžertonam 1959. gadā tas izdevās 8500 m dziļumā. Padomju pētnieks N. Zenkēvičs 1959. gadā fotografēja Klusajā okeānā uz ziemeļiem no Jaunzēlandes 9960 m dziļumā, taču aparāts iekļuva dubļu straumē un uzņēmums iznāca neskaidrs. 6150 m dziļumā iegūtas stereofotogrāfijas.



L. Butans ūdenslidēja tērpā veic zemūdens fotografēšanu

Turpmākajos gados zemūdens pasaules apgūšanai izmantoja speciālas zemūdens mājas. 1964. gadā ASV tika realizēts "Sealab" (jūras laboratorija) programmas pirmais eksperiments. 26 jūdzes no Bermudu salām apdzisuša zemūdens vulkāna virsotnē 58,5 m dziļumā tika novietota pirmā amerikāņu zemūdens māja. Korpusa, kura garums bija 10 m un diametrs 3 m, iekšienē izvietojās laboratorija, dušas telpa ar siltu un aukstu ūdeni, tualetes telpa, virtuve un guļvietas atpūtai. Mājas vienā galā bija telpa ar lūku apakšdaļā akvanautu ienākšanai un iziešanai un telpa ūdenslidēju ekipējuma glabāšanai.



Zemūdens mājas "Sealab I" un "Sealab II". Zemūdens māja paredzēta 10 dalībniekiem. Tā apgādāta ar gāzu rezervēm elpošanas maisījuma sagatavošanai, pārtikas un dzeramā ūdens krājumiem. Vajadzības gadījumā ekipāža pietiekami ilgu laiku varētu iztikt bez palīdzības no ārienes

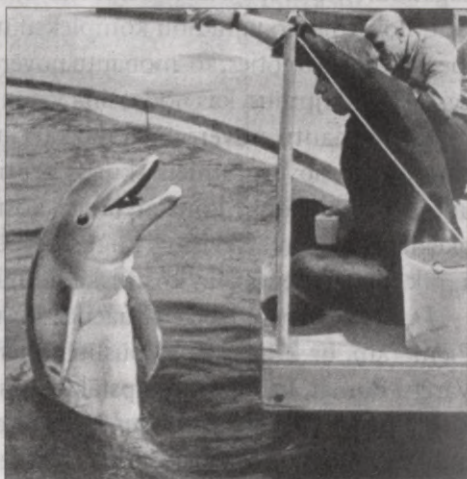
Pretējā galā bija izvietoti baloni ar sastāvdaļām atmosfēras veidošanai. Atmosfēra sastāvēja no 80% hēlija, 16% slāpekļa un 4% skābekļa. Atmosfēras spiediens zemūdens mājā bija 7 atmosfēras. Programma bija plānota četrām nedēļām. Pēc akvanautu vārdiem, vislielākā psihiskā slodze bijusi naktīs, kad tikusi izjusta vientulība un atrautība no visās pasaules.

Pamācošs notikums atgadījās eksperimenta septītajā dienā. Viens no akvanautiem Sanders Manings, nodrošinājies ar elpošanas aparātu, izgāja ūdenī. Aizrāviens ar filmēšanu, viņš attapās, kad aparāts pārtrauca elpošanas maisījuma padevi. Sanders pameta kameru un peldēja uz māju. Viņam pietika spēka, lai aizpeldētu līdz ieejas lūkam, tad akvanauts zaudēja samaņu. Balonu atsišanās troksni pret trapu sadzirdēja dežurants un pēdējā brīdī satvēra ūdenī grimstošo biedru. Laimīgā kārtā Maningam šī neuzmanība beidzās tikai ar nelielu asins izplūdumu acu baltumos.

1965. gadā realizēja programmas "Sealab" otro etapu. Programma bija paredzēta 45 dienām un papildināta ar dažām detaļām, ievērojot iepriekšējo pieredzi. Oriģināls jaunums bija pieradināta delfīna Tafija izmantošana. Tafijs bija apmācīts apmaldījušos akvanautu uzmeklēšanai un nogādāšanai zemūdens mājā. Šī problēma ir ļoti būtiska sliktas redzamības apstākļos. Zemūdens mājas "Sealab II" uzstādīšanas vietā Klusā okeāna Kalifornijas piekrastē redzamība bija tikai daži metri. Tad apmaldīšanās var būt liktenīga. Elpojamā maisījuma rezerve aparātā ir ierobežota, bet ceļš uz augšu ir slēgts. Mēģinājums uznirt neglābjami izraisa bojāeju dekompresijas dēļ.

1968. gadā Melnajā jūrā izveidoja zemūdens laboratoriju "Černomor" gaismas parametru tiešai mērīšanai zem ūdens visos iespējamajos dziļumos. Plašu lietojumu hidrooptikā ieguvis lāzers. Pēc amerikāņu pētnieku ziņām, zili zaļā lāzera stars ūdenī var noiect līdz 1200 m. Šāds lāzers ir perspektīvs zemūdens sakaru līdzeklis. Lāzerus izmanto arī precīzu hidrooptisku instrumentu izveidošanai, tai skaitā – gaismas izkliedes mērīšanai.

Okeānu izpēte no kosmosa. Pasaules okeāna pētniecības kosmosa programmas ietvaros ir palaisti vairāki ZMP, to skaitā no pavadoņu sērijas "Interkosmos" un "Seasat", kas speciāli apgādāti ar ierīcēm okeāna pētīšanai. Izstrādātās novērošanas metodes ļauj veikt pētījumus visos atmosfēras caurlaidības rajonos: redzamā un tuvā IS (0,4 – 1,2 μm), vidējā IS (3 – 5 μm un 8 – 13 μm) un radio viļņu rajonā (1 mm – 10 m). Tehniski vienkāršākā ir vizuālā novērošana un fotografēšana. No ZMP labi redzami dažādas nokrāsas rajoni,



Tafijs bija pilntiesīgs ekspedīcijas loceklis. Viņš saņēma savu pārtikas devu un to godīgi nopelnīja, pienesot instrumentus un pastu no ūdens virspuses. Vēlāk Tafijam uzticēja sameklēt jūras dibenā dārgās telemehāniskās ierīces, kuras raķešu palaišanas procesā krita jūrā. Četru mēnešu laikā Tafijs ietaupīja 70 000 dolāru

piekrastes josla un jūras seklāko vietu dibena reljefs. No dažu simtu kilometru augstuma var labi noteikt upju duļķainā ūdens konusu robežas, liela mēroga (daži simti kilometru) okeāna virpuļus, dažāda tipa planktonu rajonus un pat kuģu ķīļūdens pēdas. Dažādu valstu kosmonautu novērojumi liecina par okeānu vizuālās novērošanas lielo informācijas bagātību. Redzes spēja izdarīt informācijas atlasu un novērojumu loģiskā analīze nodrošina tādu novērojamo parādību kompleksu uztveri, kādu nespēj neviena aparatūra. Iepriekš speciāli sagatavojoties, kosmonautu novērošanas spējas stipri palielinās. Tas ir svarīgi, veicot ilgstošus lidojumus, kas nodrošina vienu un tā paša rajona vairākkārtēju novērošanu.

Kosmonautu novērojumi dažkārt jūras optikas speciālistiem sagādā problēmas, ziņojot par novērojumiem, kurus grūti vai pat nav iespējams pamatot. Jau pirmajos lidojumos kosmosā konstatēja, ka kosmonauti labi atšķir maza izmēra objektus uz okeāna fona, pat atsevišķus kuģus. Iespējams, ka acs adaptācijas spējas ir lielākas, nekā agrāk tika pieņemts, un kosmiskā lidojuma apstākļos redzes asums palielinās.

Dažādas neparedzētas situācijas kosmisko lidojumu apstākļos veidojas vairākkārt. Piemēram, uz Zemes gaisa pūslītis ūdeni vienmēr uzpeld, jo tas ir vieglāks par ūdeni. Varētu domāt, ka bezsvara apstākļos visi pūslīša stāvokļi ir vienlīdz varbūtīgi. Taču tas kustas un kustība notiek virzienā, kur šķidrums ir siltāks. Izrādās, ka arī bezsvara apstākļos notiek konvekcija. Atšķirībā no apstākļiem uz Zemes to neizraisa smagums spēks, bet gan virsmas spraigums. No siltā šķidruma puses tas ir mazāks, tādēļ gaisa pūslītis kustas šajā virzienā. Uz Zemes šādu parādību nevar novērot, jo smagums spēks maskē citus smalkākus efektus, pie kuriem jāpieskaita arī virsmas spraigums.

Ar virsmas spraigums spēku nozīmi, kas parastos apstākļos nav liela, bija jāstopas kosmiskajos eksperimentos ar zivīm. Radot akvārijus, rūpējās, lai tie būtu caurspīdīgi un lai to materiāls neizdalītu zivīm kaitīgas vielas. Kad šāds akvārijs nonāca kosmosā, ūdens pārklāja tā iekšējo virsmu, bet akvārija centrā veidojās sfērisks gaisa burbulis. Ap šo burbuli sapulcējās novērojamās zivis. Radās grūtības ar to barošanu. Nākamais akvārijs gatavoja no materiāla, kuru ūdens neslapina. Tad aina izmainījās. Akvārija centrā veidojās ūdens lode ar zivīm pie tās virsmas, bet gaiss aizņēma telpu starp ūdens lodi un akvārija sienām. Zivju barošana vairs grūtības neradīja.

Orbitālās stacijas "Salūts – 6" programmā ietilpa okeānu vizuāla novērošana un fotografēšana. Vispirms V. Kovaļenoks 1978. gada 4. oktobrī, bet pēc tam arī citi kosmonauti atklāja, ka okeānos ir rajoni, kur veidojas velves ar paaugstinātu ūdens līmeni un ieplakas ar pazeminātu ūdens līmeni. Šādu rajonu diametrs ir 200 – 300 km. Ap šiem rajoniem novērota savdabīga mākoņu kustība. Šādi rajoni novēroti Bermudu trīsstūrī, uz rietumiem no Kalifornijas un ziemeļaustrumos no Jaunzēlandes. Amerikāņu kosmonauti no stacijas "Skylab" ar radiolokācijas palīdzību noskaidroja, ka okeāna līmeņa pazemināšanās atbilst jūras dibena pazeminājumam Puertoriko salas rajonā. Velvu un ieplaku līmeņa izmaiņa ir neliela – ap 10 m uz 100 km, tādēļ to nevar novērot no kuģa vai lidmašīnas, jo tā neievietojas redzes laukā. Šādi novērojumi ir iespējami tikai no augstuma, kādā lido kosmiskie kuģi.

Vēl pārsteidzošāks ir kosmonautu Vladimira Ļahova un Valerija Rjumina ziņojums par to, ka viņi ieraudzījuši zemūdens kalnu kori dienvidrietumos no Havaju salām, kas

atrodas vairāku simtu metru dziļumā. Šāds ūdens slāņa biezums ir necaurspīdīgs. Pats fakts netiek apšaubīts, jo līdzīgus novērojumus ir veikuši arī citi kosmonauti. Tādēļ šā fakta izskaidrošanai izteiktas vairākas hipotēzes.

- Novērojot no kosmiskās stacijas caur iluminatoru, tiek ekranēta liela daļa no fona gaismas, tai skaitā no horizontam tuviem rajoniem. Tas palielina kontrastu.
- No šāda augstuma palielinās redzes lauks. Tas atļauj novērot visu velves, ieplakas vai kalnu grēdas rajonu. No 250 km augstuma redzes lauka rādiuss ir 1900 km, bet no 400 km jau – 2400 km. No lidmašīnas, kas lido 10 km augstumā, redzamības attālums ir tikai ap 100 km, jo horizontu aizsedz dūmaka.
- Labvēlīgi apgaismojuma apstākļi rada novērojamā objekta kaut nelielu spožuma atšķirību no fona un iespēju novērot vidējo spožumu no liela laukuma.
- Iespējams, ka kosmonauti novēroja kādu citu parādību, kas kaut kādā veidā ir saistīta ar okeāna dibena reljefu. Iespējams arī, ka tā izpaužas okeāna virsmas reljefs, kas saistīts ar okeāna dibena nelīdzenumiem. Zināma loma šeit var būt arī ūdens vertikālai kustībai, kas imitē zemūdens reljefu.

Pēc kosmiskā kuģa “Salūts – 6” bortinženiera V. Rjulina datiem, okeāna vizuālus krāsas novērojumus vislabāk veikt apstākļos, kad Saule ir augstu pie debesīm. Tad ir vislabāk saskatāmi krāsu kontrasti. Zemā Saules stāvoklī okeāns šķiet vienādi tumši zilā tonī. Taču šādā situācijā labāk izpaužas virsmas parādības: virpuļi, straumes un dziļumviļņu jeb iekšējo viļņu pēdas. Dziļumviļņi attīstās okeāna dzelmē, kur notiek jūras ūdens dziļāko slāņu blīvuma izmaiņa, un tieši virspusē neparādās. Tie izraisa virkni specifisku parādību, kas tos ļauj atklāt kosmiskajās fotogrāfijās. Ūdens daļiņu svārstības dziļumviļņos, sasniedzot ūdens virsmu, mijiedarbojas ar straumes un vēja izraisītiem efektiem. Tādējādi ūdens virspusē novēro sīku vilniņu un gluda ūdens joslas. Joslu platums sasniedz dažus simtus metru, bet to garums – daudzus kilometrus. Mērījumi rādīja, ka zem vilniņu klātajām joslām atrodas dziļumviļņu virsotnes, bet zem gludām ūdens joslām – ieplakas. Viļņiem klātās un gludās ūdens virsmas dažādi atstaro Saules gaismu, tādēļ tās viegli atšķirt fotogrāfijās. Dziļumviļņi var būt bīstami zemūdenēm. Tie ir atklāti Kolumbijas piekrastē, pie Galapagu salām, pie Kamčatkas, Arafuru jūrā u. c.

NLO. Okeanogrāfiskie pētījumi rosināja zinātniekus pievērsties arī citai problēmai, kura, šķiet, nav saistīta ar hidrooptiku. Visi būs dzirdējuši par tā sauktajiem “lidojošajiem šķīvīšiem”. Pastiprināta interese par tiem aizsākās 1947. gadā, kad amerikāņu biznesmenis Arnolds Kennets kādā darījuma lidojumā savā privātajā lidmašīnā Reinīra kalna rajonā ievēroja dīvainus objektus. Viņš rakstīja: “Es pilnīgi skaidri redzēju to kontūras uz sniega fona, kad tie tuvojās kalnam. Tie lidoja ļoti tuvu kalnu virsotnēm, tieši uz dienvid-austrumiem līdztekus galvenajai grēdai, kā zosis rindā, it kā būtu saistīti ķēdē. Tie nolidoja aptuveni 20 – 25 jūdzes un izzuda. Apmēram trīs minūtes es novēroju, kā vismaz piecu jūdžu gara šķīvjuveidīgu priekšmetu virkne lavījās starp augstajām kalnu virsotnēm. Tie bija plakani kā pannas un līdzīgi kā spogulis atstaroja Saules starus.”

Šis ziņojums izpelnījās ievērību, un sākās “šķīvju epidēmija”, kas aptvēra visu pasauli. Miklainos šķīvjus nosauca par NLO (neatpazītie lidojošie objekti). Pirmie NLO attēli veidoti pirms 10 – 15 tūkstošiem gadu uz alu sienām Spānijā, Francijā un Ķīnā. Par

nepazīstamu objektu novērojumiem rakstījis grieķu filozofs Anaksagors (5. gs. p. m. ē.), kā arī Seneka un Plūtarhs. Arī senās kristiešu hronikās sastopami nepazīstamu lidojošu objektu apraksti. Gaišreģis Zaharija aprakstīja "lidojošu mucu", par kuru eņģelis vēstījis, ka tas ir "lāsts, kurš mūžīgi gulsies pār Zemi". Savdabīga objekta apraksts dots Kirilo-Belozerskas klostera ziņojumā valdībai "Par meteorītiem, kas parādījušies Belozerskas apriņķī". Ziņots, ka 1663. gadā 15. augustā Volodgaskas guberņā virs Robozeras sādžas no ziemeļiem parādījies dīvains mirdzošs ķermenis apmēram 40 m diametrā, kurš nelielā augstumā, stipri trokšņojot, lēnām virzījies uz dienvidiem. No tā priekšdaļas divi stari tikuši virzīti uz ezeru blakus sādžai. 1882. gadā E. Maunders Griničas observatorijā novēroja mirdzošu zaļganas krāsas disku pārvietojamies no ziemeļaustrumiem uz rietumiem. Objekta kustības ātrumu zinātnieki vērtēja ap 16 km/st.



Kāda no NLO fotogrāfijām

Daudzus NLO novēroja Otrā pasaules kara laikā. 1942. gada 25. februāra naktī 15 sfēriskas formas objekti no okeāna puses tuvojās Losandželosai. Objekti lidoja ar 300 km/st lielu ātrumu. Virs pilsētas objekti nolaidās zemāk un sadalījās grupās pa 3–6 NLO katrā. Objektus apgaismoja prožektoru un pa tiem atklāja zenītartilērijas uguni, izšaujot 1430 lādiņu. Taču neviens objekts netika notriekts. Kosmonauts J. Mališevs vēlāk rakstīja: "Kas attiecas uz NLO, tad neviens cilvēks visā pasaulē nevar pasacīt, kas tie ir. Noliegt šīs parādības nav iespējams, jo tām bijuši tūkstoši, pat desmitiem tūkstoši liecinieku. Taču fenomena fizikālā daba paliek nenoskaidrota." Visticamāk, ka NLO var būt dažādas dabas un atšķirīgas izcelsmes objekti. Kosmonauts P. Popovičs konstatēja, ka "šodien sakrājies daudz ziņojumu par lidojošo objektu novērojumiem un ir laiks tajos ieviest skaidrību. Nav jēgas kā strausam slēpt galvu smiltīs un visu noliegt. Ir jācenšas neskaidro saprast."

Visai plašu atsaucību guva skaidrojums, ka NLO ir citu planētu, visbiežāk Veneras vai Marsa, iemītnieku kuģi, kuri novēro Zemes iedzīvotāju attīstības līmeni. Tagad zināms, ka vismaz šīs planētas nevar kalpot par augsti attīstītas civilizācijas mājvietu. Izplatījās arī baumas, ka NLO ir krievu lidaparāti, kas novēro ASV slepenos objektus. Vēlāk kļuva zināms, ka ASV Gaisa karaspēka administrācija sākusi šos faktus izmeklēt. Apmēram 80% gadījumu NLO izrādījās meteoroloģiskie baloni, augstu lidojošas lidmašīnas, meteorīti, papīra pūķi, dažādi vēja nesti priekšmeti, prožektoru apgaismoti mākoņi, lodveida zibens un lidmašīnu atstātās pēdas.

20% gadījumu šāda vienkārša pamatojuma nebija, un zinātnieki NLO centās skaidrot ar optiskām parādībām atmosfērā. Novērojumi un iegūtās fotogrāfijas liecināja par svarīgākajām NLO īpašībām:

- NLO ir diskveida forma, kas atgādina divus kopā saliktus šķīvjus;
- objekti gaisā pārvietojas, parasti bez trokšņa;
- NLO var kustēties ar lielu paātrinājumu, strauji mainīt virzienu un pēkšņi izzust.

Negaidītu pavērsieni šīs problēmas risināšanā ieviesa okeanoloģiskie pētījumi. Pēdējās desmitgadēs uzkrātie fakti liecināja par savdabīgu fizikālo parametru maiņu jūrā atkarībā no dziļuma. Jau sen bija zināms, ka jūras ūdens virsējā kārtā temperatūra ir praktiski konstanta. Dziļāk atrodas slānis, kur temperatūra mainās strauji, bet vēl dziļāk temperatūras izmaiņa atkal kļūst neliela. Slāni, kur temperatūra mainās strauji, sauc par "termoķīli". Precīzie jaunākie mērījumi liecināja, ka termoķīlim ir šāda struktūra: konstantas temperatūras slānis mijas ar slāni, kurā temperatūra strauji mainās. Mūsu planētas ūdens un arī atmosfēras "čaula" ir veidota tieši no šādiem slāņiem, tā saucamajiem stratiem. Uz slāņu robežas rodas iekšējie viļņi. Tie var lūzt līdzīgi kā virsmas viļņi, kad pēdējie nonāk sēkli. Angļu okeanologs Džons Vuds šo parādību pētīja jūrā Maltas tuvumā. Viņš termoķīļa zonā ievadīja fluoriscējošu krāsu un fotografēja iekšējo viļņu lūšanu.

Ja stāvs iekšējais vilnis izliecas un pēc tam lūst, veidojas zona, kurā tiek ierautas ūdens daļiņas kā no augšējā, tā apakšējā slāņa, tādējādi viļņu lūšanas laikā ūdens sajaucas. Blīvums, temperatūra un citi raksturlielumi zonā izlīdzinās, un tās sastāvs kļūst viendabīgs. Virs zonas ūdens blīvums ir mazāks, zem zonas – lielāks. Pazīstamais padomju matemātiķis Andrejs Kolmogorovs un viņa skolnieki A. Moņins un G. Barenblats pētīja šo zonu dinamiku slāņotā šķidrumā. Zinātniekiem izdevās atrast matemātisku vienādojumu, kas raksturo zonu kustību un maiņu, un iegūt šā vienādojuma skaitlisku risinājumu.

Lai arī kādu veidu iegūtu zona pēc viļņu lūšanas, tā vispirms pieņem apaļu formu un tikai tad sāk palielināties, saglabājot apaļu formu un pakāpeniski pārtopot diskā. Sajauktā šķidruma zonas izplešanās notiek ļoti lēnām, lēnāk nekā lidmašīnas "baltās pēdas" izplūšana atmosfēras augšējos slāņos.

K. Fjodorovs ar līdzstrādniekiem teorētiskos secinājumus pārbaudīja eksperimentā. Traukā, kur šķidrumam bija izveidota stratu struktūra, ierosināja iekšējos viļņus, novēroja to lūšanu un viendabīga sastāva zonu veidošanos. Zinātnieki eksperimentā mēģināja traucēt sākotnējām dažāda izskata zonām veidot apaļu formu, taču tas viņiem neizdevās. Noskaidrojās, ka zonās turbulence un enerģija ir lielāka nekā ārpus tām. Šīs zonas var uzskatīt par "ilgdzīvojošiem vilcīņiem". Secinājumu pareizību attiecībā uz atmosfēru apstiprināja amerikāņu zinātnieki. Viņi pētīja atmosfēras parādības Atlantijas okeāna krastā netālu no Ņujorkas, izmantojot 140 m lielu augstuma starpību. Pētnieki konstatēja, ka atmosfērā pastāv asi norobežoti turbulenti diska formas rajoni. Izveidojies "šķīvis" var uzsūkt putekļus, kļūstot par atmosfēras aerosola slazdu. Ja uzsūkto daļiņu ir pietiekami daudz, tad gaisa disks kļūst necaurspīdīgs un to var saskatīt. Šāda veidojuma izturēšanās atbilst NLO īpašībām. Uztverto daļiņu masa nav liela, tādēļ gaisa plūsmas var disku strauji paātrināt. Ja putekļu ir daudz, tad disks sāk lēnām piezemēties, viegli šūpojoties kā krītoša koka lapa rudenī. Pakāpeniskas sabrukšanas dēļ "šķīvis" pārtop "pankūkā". Beigās turbulentās kustības enerģija izsīkst, un veidojums, sajaucoties ar apkārtējo gaisu, izzūd, radot iespaidu par tā kustību ar virsgaismas ātrumu.

Beidzot šo tēmu, jāpiebilst, ka nepazīstamus zemūdens objektus no batiskafa novēroja arī Žaks Pikārs. Pirmais gadījums noticis 1959. gada 15. novembrī Guama salas tuvumā. Ieraksts borta žurnālā liecina: "10.57, dziļums 700 asu (1 jūras ass ir 1,83 m). Pamanīts

milzīgs diska formas objekts ar daudziem mirdzošiem punktiem.” Otrs novērojums izdarīts 1968. gadā Bahamu salu rajonā, kur pamanīts 30 m garš elipsoīda formas nepazīstams objekts.

NLO izzināšanas process ir analogisks lodveida zibens pētījumiem. Abos gadījumos izmantotas jaunākās atziņas, kas iegūtas dažādās pat ļoti atšķirīgās zinātņu jomās. Gūt labas sekmes iespējams, apvienojot dažādu specialitāšu zinātnieku spēkus kopējam mērķim. Tas vieš cerības, ka arī turpmāk gaidāmi risinājumi pagaidām vēl neizprastu parādību skaidrošanā.

PIELIKUMI

1. pielikums

PERSONĀLIJU ALFABĒTISKAIS SARAKSTS

A

- Abe Ernsts Karls (*Abbe E. K.*, 1840 – 1905) 105, 107, 108, 290
Abots Čārlzs Grilijs (*Abbot Ch. G.*, 1872 – 1973) 310
Adamss Džons Kaučs (*Adams J. C.*, 1819 – 1892) 93 – 95
Adamss Volters Sidnijs (*Adams W. S.*, 1876 – 1956) 169
Aivss H. E. (*Ives H. E.*) 118
Aleksandrs Afrosiādiētijs (*Alexandros Aphrodisiens*, 2. gs. beigas – 3. gs. sākums) 134
Aleksandrs Lielais (356. – 323. g. p. m. ē.) 11
Alfvēns Hanness Olafs Jēsta (*Alfven H. O. G.*, 1908 – 1995) 182, 183
Alhazens Abu Ali (965 – 1039) 22, 23, 31, 41, 329
Alkemade K. T. (*Alkemade C. T. J.*) 213
Amenhoteps IV; arī Amenofis, Ehnatons (*Amenothis IV*, 14. gs. p. m. ē.) 306
Amiči Džovanni Batista (*Amici G. B.*, 1786 – 1863) 380
Ampērs Andrē Marī (*Ampere A. M.*, 1775 – 1836) 73, 76, 112
Andersons Karls (*Anderson W. C.*) 194, 195
Androniks Rodoskis (*Andrónikos*) 20
Angstrēms Anderss Jonass (*Ångström A. J.*, 1814 – 1874) 89, 90, 98, 318
Anrī Pauls (*Henry Paul*) 257
Anrī Prospera (*Henry Prosper*) 257
Apolonijs (*Apollonius*, 3. gs. p. m. ē.) 21
Arago Dominiks Fransuā Žans (*Arago D. F. J.*, 1786 – 1853) 64, 65, 73 – 85, 238, 245
Arčers Frederiks Skots (*Archer F. S.*, 1813 – 1857) 239
Arhimēds (*Arhimēdēs*, 287. – 212. g. p. m. ē.) 13 – 15, 188
Aristarhs (*Aristarchos Samios*, ap 320. – 250. g. p. m. ē.) 16, 17
Aristofans (*Aristophanēs*, 445. – 385. g. p. m. ē.) 5
Aristotelis (*Aristotelēs*, 384. – 322. g. p. m. ē.) 11, 125, 329
Armati Salvino (*Armati S.*, miris 1317) 5
Arēniuss Svante Augusts (*Arrhenius S. A.*, 1859 – 1927) 125
Astons Frensiss Viljams (*Aston F. W.*, 1877 – 1945) 142
Aurēlijs Marks (*Aurelius Marcus*, 121 – 180) 21
Avicenna Ibn Sīna; arī Abū Ali Huseins ibn Abdallāhs ibn Sīna (980 – 1037) 24

B

- Babinē Žaks (*Babinet J.*, 1794 – 1872) 83, 198
Bāde Vilhelms Henrijs Valters (*Baade W. H. W.*, 1893 – 1960) 170
Bairds Džons (*Baird J. L.*, 1888 – 1946) 191
Balmers Johans Jākobs (*Balmer J. J.*, 1825 – 1898) 91, 139, 140
Bārnards Edvards Emersons (*Barnard E. E.*, 1857 – 1923) 125, 126
Barouvs Izaks (*Barrow I.*, 1630 – 1677) 49
Bartoli Adolfo (*Bartoli A.*, 1851 – 1896) 123

- Bartolins Erasmus (*Bartolin E.*, 1625 – 1698) 54, 57
 Bārtons Džons (*Burton J.*) 81, 82
 Basovs Nikolajs (dz. 1922) 176, 177
 Bauersfelds Valters (*Bauersfeld W.*, 1870 – 1959) 303
 Bazins (*Bazin*) 357
 Bebkoks Horass Velkems (*Babcock H. W.*, dz. 1912) 315
 Becolds Vilhelms (*Bezold W.*, 1837 – 1907) 322
 Beiss-Balots Kristofors Henrihs Dītrihs (*Buys-Ballot Chr. H. D.*, 1817 – 1891) 84
 Bekerels Aleksandrs Edmunds (*Becquerel Alexandre Edmond*, 1820 – 1891) 240
 Bekerels Antuāns Anrī (*Becquerel A. A.*, 1852 – 1908) 224 – 226
 Bells Aleksandrs Greiems (*Bell A. G.*, 1847 – 1922) 121
 Belopoļskis Aristarhs (1854 – 1934) 340
 Benets Viljams Ralfs (*Bennett W. R.*, dz. 1930) 177
 Berdžs Raimonds Teiers (*Berge R. T.*, 1887 – 1980) 142
 Bernals Džons Desmonds (*Bernal J. D.*, 1901 – 1971) 123
 Bernsajds Viljams (*Burnside W.*, 1852 – 1927) 115
 Bernulli Dāniels (*Bernoulli D.*, 1700 – 1782) 322
 Besels Frīdrihs Vilhelms (*Bessel F. W.*, 1784 – 1846) 93
 Bets R. A. (*Beth R. A.*) 123
 Bēkons Frānsiss (*Bacon F.*, 1561 – 1626) 40, 45
 Bēkons Rodžers (*Bacon R.*, 1214 – 1294) 24, 25
 Bībe Viljams (*Beebe W.*) 356, 358
 Bifons Žoržs (*Buffon G. L. L.*, 1707 – 1788) 16
 Bio Žans Batista (*Biot J. B.*, 1774 – 1862) 64, 73, 77
 Birunī Abū Reihāns al (973 – 1048) 23
 Bīsbruks Džordžs Ahils (*Biesbroeck G. A., van*, 1880 – 1974) 160
 Blombergens Nikolass (*Bloembergen N.*, dz. 1920) 281
 Bočkova Olga (dz. 1922) 203, 213
 Bode Johans Elerts (*Bode J. E.*, 1747 – 1826) 68, 93
 Boils Roberts (*Boyle R.*, 1627 – 1691) 46, 268
 Boks Bārts Jans (*Bok B. J.*, 1906 – 1983) 325
 Bolcmanis Ludvigs (*Boltzmann L.*, 1844 – 1906) 113, 129, 133
 Bolotovskis Boriss 165
 Bonds Džordžs Filips (*Bond G. Ph.*, 1825 – 1865) 256, 257
 Bonds Viljams Krenčs (*Bond W. C.*, 1789 – 1859) 245
 Borns Makss (*Born M.*, 1882 – 1970) 149, 156, 157
 Bors Nilss Hendriks Dāvids (*Bohr N. H. D.*, 1885 – 1962) 141, 146 – 157, 202
 Bosjē Žaks Benils (*Bossuet J. B.*, 1627 – 1704) 306
 Bouens Aira Spreigs (*Bowen I. S.*, 1898 – 1973) 98
 Brahe Tiho (*Brahe T.*, 1546 – 1601) 28 – 30, 41
 Brands Henings (*Brand Henning*, ap 1630 – 1710) 215
 Brants Georgs (*Brandt G.*, 1694 – 1768) 215
 Brauns Roberts (*Brown R.*, 1773 – 1858) 285
 Brauns Roberts Hanberijs (*Brown Robert Hanbury*, dz. 1916) 302
 Bredlijs Džeimss (*Bradley J.*, 1693 – 1762) 59 – 61, 77
 Brekits Frenks Pārkhērsts (*Brachkett F. R.*, 1865 – 1951) 140
 Briljuēns Leons (*Brillouin L.*, 1889 – 1969) 162

- Brūsters Deivids (*Brewster D.*, 1781 – 1868) 64, 82, 118, 197
- Bruno Džordāno Filipo (*Bruno G. F.*, 1548 – 1600) 328
- Buabodrāns Pauls Emils (*Lecocq de Boisbaudran P. E.*, 1838 – 1912) 217
- Bugērs Pjērs (*Bouguer P.*, 1698 – 1758) 61, 356
- Buisons H. (*Buisson H.*) 309
- Bunzens Roberts Vilhelms (*Bunsen R. W.*, 1811 – 1899) 87, 88, 198, 199, 217
- Butans Luijs (*Boutan L.*) 357, 358
- Buvārs Aleksis (*Bouvard A.*, 1767 – 1843) 91 – 93
- C
- Ceiss Karls Frīdrihs (*Zeiss C. F.*, 1816 – 1888) 107
- Ceraskis Vitolds (1849 – 1925) 340
- Cernike Fricis (*Zernike F.*, 1888 – 1966) 163
- Cēzars Gajs Jūlijs (*Caesar G. J.*, 102. vai 100. – 44. g. p. m. ē.) 27, 268
- Cicerons Marks Tullijs (*Cicero M. T.*, 106. – 43. g. p. m. ē.) 15
- Č
- Čandraskars Subrahmanjans (*Chandrasekhar S.*, 1910 – 1995) 308
- Čao Raimonds (*Chiao R. Y.*) 186
- Čedviks Džeimss (*Chadwick J.*, 1891 – 1974) 137
- Čelliss Džeimss (*Challis James*, 1803 – 1882) 93 – 95
- Čerenkovs Pāvels (dz. 1904) 164 – 166
- Čikoļevs Vladimirs (1845 – 1898) 191
- D
- Dagērs Luijs Žaks Mandē (*Daguerre L. J. M.*, 1787 – 1851) 83, 237 – 240
- Dalambērs Žans Lerons (*D'Alembert J. le Rond*, 1717 – 1783) 67, 322
- Daltons Džons (*Dalton J.*, 1766 – 1844) 271
- Darvins Čārlzs (*Darwin Ch.*, 1887 – 1962) 146
- Darvins Čārlzs (*Darwin Ch. R.*, 1809 – 1882) 13, 69
- Debajs Peters Jozefs Vilhelms (*Debye P. I. W.*, 1884 – 1966) 124, 151, 160
- Debjorns Andrē Luijs (*Debiegne A. L.*, 1874 – 1949) 222, 226, 227
- Debroļi Luijs Viktors (*Broglie Louis, de*, 1892 – 1987) 133, 151 – 156
- Dekarts Renē (*Descartes R.*, *Cartesius*, 1596 – 1650) 41, 42, 331, 332
- Delarī Vorens (*de la Rue W.*, 1815 – 1889) 245, 246, 306
- Delambrs Žans Batists Žozefs (*Delambre J. B. J.*, 1749 – 1822) 58, 67, 68
- Demarsē Eižens Anatols (*Demarcay E. A.*, 1852 – 1904) 199, 226
- Dēmokrits no Abdērām (*Dēmokritos*, 460. – 370. g. p. m. ē.) 10
- Denišjuks Jurijs (dz. 1927) 258
- Devisons Klintons Džozefs (*Davisson C. J.*, 1881 – 1958) 157
- Dēvi Hamfrijs (*Davy H.*, 1778 – 1829) 63, 216
- Diofants (*Diophantos*, ap 3. gs.) 20
- Diraks Pols Adriens Moriss (*Dirac P. A. M.*, 1902 – 1984) 157
- Dits Roberts 356
- Djuārs Džeimss (*Dewar J.*, 1842 – 1923) 219
- Dolonds Džons (*Dollond J.*, 1706 – 1761) 56
- Dominiko Antonio 331

- Doplers Kristiāns (*Doppler Ch.*, 1803 – 1853) 83
- Dorns Frīdrihs Ernsts (*Dorn F. E.*, 1848 – 1916) 222
- Dreipers Džons Viljams (*Draper J. W.*, 1811 – 1882) 93, 245
- Dreipers Henrijs (*Draper H.*, 1837 – 1882) 98, 99, 257, 258
- Drude Pauls Karls Ludvigs (*Drude P. K. L.*, 1863 – 1906) 102, 118
- Duglass Endrū Eliots (*Douglas A. E.*, 1867 – 1962) 316
- Džavans Ali (*Javan A.*, dz. 1926) 177, 182
- Džermers Lesters Halberts (*Germer L. H.*, 1896 – 1971) 157
- Džīnss Džeimss Hepvuds (*Jeans J. H.*, 1877 – 1946) 130, 149
- Džordžs I (*George*, 1660 – 1727) 52
- Džordžs III (*George*, 1738 – 1820) 65, 66
- E
- Edingtons Artūrs Stenlijs (*Eddington A. S.*, 1882 – 1944) 311
- Edisons Tomass (*Edison T.*, 1847 – 1931) 111
- Edžertons Harolds 358
- Eiduss Jāzepts (dz. 1916) 204
- Eiklids (*Eukleidēs*, ap 365. – 300. g. p. m. ē.) 12
- Eilers Leonhards (*Euler L.*, 1707 – 1783) 56, 67
- Einšteins Alberts (*Einstein A.*, 1879 – 1955) 133 – 139, 157 – 159, 175, 285, 297
- Empedokls (*Empedoklēs*, ap 490. – 430. g. p. m. ē.) 11
- Engs V. K. (*Ng W. K.*) 186
- Epsteins Pauls Sofus (*Epstein P. S.*, 1883 – 1966) 137
- Eratostens (*Eratosthenēs*, ap 276. – 194. g. p. m. ē.) 16, 27
- Eri Džordžs Baidels (*Airy G. B.*, 1801 – 1892) 78, 93, 94, 105
- Eriots D. R. (*Herriott D. R.*) 177
- Ersteds Hanss Kristians (*Oersted H. Ch.*, 1777 – 1851) 112
- Ešers Maurits Kornēlijs (*Escher M. C.*, 1898 – 1972) 282, 323
- F
- Fabri Šarls (*Fabry Ch.*, 1867 – 1945) 90, 309
- Fabriciuss Johanness (*Fabricius J.*, 1587 – ap 1615) 306
- Fabrikants Valentins (dz. 1907) 175
- Faleras Dēmetrijs 11
- Faradejs Maikls (*Faraday M.*, 1791 – 1867) 63, 64, 84, 112, 117
- Faulers Ralfs Hovards (*Fowler R. H.*, 1889 – 1944) 141
- Fehners Gustavs Teodors (*Fechner G. T.*, 1801 – 1887) 278
- Fermā Pjērs (*Fermat P.*, 1601 – 1665) 42
- Fesenkovs Vasilij (1889 – 1972) 323
- Ficdžeralds Džordžs Frānsiss (*Fitzgerald G. F.*, 1851 – 1901) 116, 122
- Filips II (*Philippos II*, 383. – 336. g. p. m. ē.) 11
- Filolajs (ap 420. g. p. m. ē.) 16
- Fizo Armāns Ipolits Luijs (*Fizeau A. H. L.*, 1819 – 1896) 36, 85 – 87, 120, 246, 301, 306
- Flamarions Kamils (*Flammarion C.*, 1842 – 1925) 341
- Flemstīds Džons (*Flemsteed J.*, 1646 – 1719) 51, 92
- Fogels Hermanis Vilhelms (*Vogel H. W.*, 1834 – 1898) 239
- Foigts Voldemārs (*Voigt V.*, 1850 – 1919) 102

Forlenders Daniels (*Vorländer D.*, 1867 – 1941) 193
Frakastoro Džirrolāmo (*Fracastoro G.*, 1483 – 1553) 33
Frankens Pīters (*Franken P. A.*, dz. 1928) 185
Franklends Edvards (*Frankland E.*, 1825 – 1899) 220
Franklins Bendžamins (*Franklin B.*, 1706 – 1790) 62
Franks Džeimss (*Franck J.*, 1882 – 1964) 150, 151
Franks Ilja (1908 – 1990) 165, 166
Fraunhofers Jozefs (*Fraunhofer J.*, 1787 – 1826) 80, 81, 139, 197, 198, 306
Frenels Ogistēns Žans (*Fresnel A. J.*, 1788 – 1827) 47, 71 – 84
Frenkels Jakovs (1894 – 1952) 162, 350
Frīdrihs II (*Friedrich II*) 28
Frīdrihs Valters (*Friedrich W.*, 1883 – 1968) 196
Frīšs Sergejs (1899 – 1977) 101, 165, 203
Frīziuss Džemma (*Frisius Gemma*, 1508 – 1555) 32
Fuko Žans Bernārs Leons (*Foucault J. B. L.*, 1819 – 1868) 85, 86, 102, 103, 194, 198, 246, 306
Furjē Žans Batists Žozefs (*Fourier Jean Baptiste Joseph*, 1768 – 1830) 69

G

Galēns Klaudijs (*Galenus Claudius*, 129 – ap 201) 21, 22
Galilejs Galileo (*Galilei G.*, 1564 – 1642) 33 – 37, 77, 107, 229, 306
Galle Johans Gotfrīds (*Galle J. G.*, 1812 – 1910) 95
Gaudsmits Semjuels Abrahams (*Gaudsmit S. A.*, 1902 – 1979) 203
Gauss Karls Frīdrihs (*Gauss K. F.*, 1777 – 1855) 104, 105, 275
Gābors Deniss (*Gabor D.*, 1900 – 1979) 258
Geigers Hanss Vilhelms (*Geiger H. W.*, 1882 – 1945) 144, 145
Gē-Lisaks Žozefs Luijs (*Gay-Lussac J. L.*, 1778 – 1850) 73 – 77
Geislars Heinrihs Johans Vilhelms (*Geissler H. J. W.*, 1815 – 1879) 87, 198
Geitels Hanss Frīdrihs (*Geitel H. F.*, 1855 – 1923) 345
Gerlahs Valters (*Gerlach W.*, 1889 – 1979) 161, 206
Gēte Johans Volfgangs (*Goethe J. W.*, 1749 – 1832) 230, 236, 240
Gibss Džosija Vilārdš (*Gibbs J. W.*, 1839 – 1903) 117
Gingeričs Ouens Džejs (*Gingerich O. J.*, dz. 1930) 28
Glazenaps Sergejs (1848 – 1937) 58
Gorets Čārlzs Džefrijs (*Garrett Ch. G.*, dz. 1925) 185
Grimaldi Frančesko Marija (*Grimaldi F. M.*, 1618 – 1663) 47, 48
Gudvins Hanibals (*Goodwin H.*, 1822 – 1910) 239
Gulstrands Alvars (*Gullstrand A.*, 1862 – 1930) 270, 271
Guršteins Aleksandrs 20

H

Habls Edvīns Pauels (*Hubble E. P.*, 1889 – 1953) 168 – 170, 325
Hagenbahs H. (*Hagenbach H.*) 139
Haginss Viljams (*Huggins W.*, 1824 – 1910) 84, 96 – 98, 140, 257
Halejs Edmunds (*Halley E.*, 1656 – 1742) 52
Halvakss Vilhelms Ludvigs Fricis (*Hallwachs W. L. F.*, 1859 – 1922) 118
Hamfrijs Ričards Franklins (*Humphrey R. F.*, dz. 1911) 140
Hamiltons Viljamss (*Hamilton W.*, 1805 – 1865) 105

- Hannibals (*Hannibal Barca*, 247. vai 246. – 183. g. p. m. ē.) 268
- Hartvigs Karls Ernests Albrehts (*Hartwig K. E. A.*, 1851 – 1923) 340
- Hartlijs V. N. (*Hartley W. N.*) 206
- Hēgs Emils (*Hoegh E.*, 1865 – 1915) 107
- Hehts S. (*Hecht S.*) 102, 276
- Heigenss Kristiāns (*Huygens Ch.*, 1629 – 1695) 23, 31, 36, 50, 55, 56
- Heils Džordžs Elerijs (*Hale G. E.*, 1868 – 1938) 168, 169, 306, 315
- Heizenbergs Verners Karls (*Heisenberg W.*, 1901 – 1976) 155 – 157
- Helmholcs Hermanis Ludvigs (*Helmholtz G. L.*, 1821 – 1894) 101, 102, 108, 129, 311, 313
- Heršela Karolina Lukrēcija (*Herschel K. L.*, 1750 – 1848) 65
- Heršels Džons Frederiks Viljams (*Herschel J. F. W.*, 1792 – 1871) 68 – 70, 83, 197, 245, 278
- Heršels Frīdrihs Vilhelms Viljams (*Herschel F. W. W.*, 1738 – 1822) 41, 65 – 69, 238, 256, 325
- Hercs Gustavs Ludvigs (*Hertz G. L.*, 1887 – 1975) 150, 151
- Hercs Heinrihs Rūdolfs (*Hertz H. R.*, 1857 – 1894) 114 – 116
- Hevisaidis Oliveris (*Heaviside O.*, 1850 – 1925) 114, 117
- Heveši Džordžs (*Hevesi G.*, 1885 – 1966) 149
- Hērōns (*Hērōn*, ap 1. gs. p. m. ē.) 17, 20, 43
- Hieronis II (*Hierōn*, 306. – 215. g. p. m. ē.) 13, 15
- Hiparhs (*Hipparchos*, ap 190. – 125. g. p. m. ē.) 17
- Hipātija (*Hypatia*, ap 370 – 415) 21
- Hitrofs Johans (*Hittrof J.*, 1824 – 1914) 89
- Hols Esafs (*Hall A.*, 1829 – 1907) 106
- Hopkinss H. H. (*Hopkins H. H.*) 191
- Hūkers D. (*Hooker J. D.*) 168
- Huks Roberts (*Hooke R.*, 1635 – 1703) 44 – 50, 107
- I
- Intema L. (*Yntema L.*) 325
- Ivensons K. M. (*Evenson K. M.*) 195
- J
- Jabločkovs Pāvels (1847 – 1894) 110
- Jansons Ludvigs (1909 – 1958) 205
- Jansens Zaharijs (*Janssen S.*, 1580 – 1638) 33, 107
- Jērks Čārlzs (*Yerkes Ch. T.*, 1837 – 1905) 107
- Jese Oto (*Jesse O.*, 1838 – 1901) 340
- Jofe Abrams (1880 – 1960) 136, 153
- Junge K. E. (*Junge C. E.*) 326
- Jungs Tomass (*Young T.*, 1773 – 1829) 70 – 79, 216, 230, 241
- Juri Harolds Kleitons (*Urey H. K.*, 1893 – 1981) 142
- K
- Kaizers Heinrihs Gustavs Johanness (*Kayser H. G. J.*, 1853 – 1940) 202
- Kaizers Volfgangs (*Kayser W.*, dz. 1925) 185
- Kapani Narinders (*Kapany N.*, dz. 1926) 191
- Kapica Pjotrs (1894 – 1984) 166, 351
- Karno Nikola Leonards Sadi (*Carnot N. L. S.*, 1796 – 1832) 73

- Karoluss A. (*Karolus A.*) 194
- Kasīni Džovanni Domeniko (*Cassini G. D.*, 1625 – 1712) 57
- Kavendišs Henrijs (*Cavendish H.*, 1731 – 1810) 215, 218, 219
- Kārlis II Stjuarts (1630 – 1685) 51
- Kempbels Viljams Volless (*Campbell W. W.*, 1862 – 1938) 160
- Kenedijs R. (*Kennedy R. J.*) 123, 137
- Kenone Enija Džampa (*Cannon A. J.*, 1863 – 1941) 99
- Keplers Johans (Johanness) (*Kepler J.*, 1571 – 1630) 37 – 41, 185, 337
- Kerrs Džons (*Kerr J.*, 1824 – 1907) 117
- Kerstens Gustavs (*Kersten G.*) 257, 258
- Kestners (*Kaestner*, 1719 – 1800) 23
- Kirhers A. (*Kircher Athanasius*, 1602 – 1680) 41
- Kirhofs Gustavs Roberts (*Kirchhoff G. R.*, 1824 – 1887) 87 – 90, 103, 128, 198, 199, 217, 306
- Kiri Pjērs (*Curie P.*, 1859 – 1906) 225 – 227, 267
- Klārks Alvans (*Clark A.*, 1804 – 1887) 106
- Klauss E. (*Klaus E.*) 71
- Klauziuss Rūdolfs Jūliuss Emanuels (*Clausius R. J. E.*, 1822 – 1888) 322
- Klements IV (*Clement IV*, 1265 – 1268) 24
- Klēve Pērs Teodors (*Cleve P. T.*, 1840 – 1905) 199
- Klero Aleksis Klods (*Clairaut A. C.*, 1713 – 1765) 67
- Knipings Pauls (*Knipping P.*, 1883 – 1935) 196
- Kocebū Oto (*Kotzebue O., von*, 1787 – 1846) 356
- Kolmogorovs Andrejs (dz. 1903) 363
- Komptons Arturs Holijs (*Compton A. H.*, 1892 – 1962) 160
- Komts Ogists (*Comte A.*, 1798 – 1857) 198
- Konne P. (*Connes P.*) 208, 209, 212
- Konvejs Arturs (*Conway A.*, 1875 – 1950) 202
- Koperniks Nikolajs (*Kopernik N.*, 1473 – 1543) 20, 26 – 28
- Kornī Marī Alfrēds (*Cornu M. A.*, 1841 – 1902) 98
- Košī Ogistēns (*Cauchy A.*, 1789 – 1857) 100
- Kotons Eme (*Cotton E.*, 1869 – 1951) 118
- Kovaļenoks Vladimirs (dz. 1942) 360
- Krauliņa Elza (dz. 1920) 204
- Krāmerss Hendriks Antonio (*Kramers H. A.*, 1894 – 1952) 157
- Kristiansens Kristiāns (*Christiansen Ch.*, 1839 – 1917) 100
- Krukss Viljams (*Crookes W.*, 1832 – 1919) 88, 219, 221, 266
- Kunts Augusts Ādolfs (*Kundt A. A.*, 1839 – 1894) 100
- Kuroda P. K. (*Kuroda P. K.*) 228
- L
- Laberi A. (*Labeurie A.*) 303
- Labords A. (*Laborde A.*) 227
- Lagranžs Žozefs Luijs (*Lagrange J. L.*, 1736 – 1813) 67
- Laimans Teodors (*Lyman Th.*, 1874 – 1954) 141
- Lamberts Johans Heinrihs (*Lambert J. H.*, 1728 – 1777) 61, 63
- Landaus Ļevs (1908 – 1968) 151
- Landsbergs Grigorijs (1890 – 1957) 79

- Lanževēns Pols (*Langevin P.*, 1872 – 1946) 153, 154, 267
- Laplass Pjērs Simons (*Laplace P. S.*, 1749 – 1827) 67, 68, 77, 83, 245
- Laue Makss Fēliks Teodors (*Laue M. F. T.*, 1879 – 1960) 196
- Lēbs L. B. (*Loeb L. B.*) 343
- Leibnics Gotfrids Vilhelms (*Leibniz G. W.*, 1646 – 1716) 51, 132
- Legrē Gustavs (*le Gray G.*, 1820 – 1882) 239
- Leikips (*Leukippos*, ap 500. – 440. g. p. m. ē.) 10
- Leits E. N. (*Leith E. N.*) 258
- Leksels Anderss Juhans (*Lexell A. J.*, 1740 – 1784) 66
- Lēmans Oto (*Lehmann O.*, 1855 – 1922) 193
- Lenglijs Semjuels Pjerponts (*Langley S. P.*, 1834 – 1906) 310
- Leonardo da Vinči (*Leonardo da Vinci*, 1452 – 1519) 22, 25, 26, 229, 327
- Lerū Fransuā Pjērs (*Le-Roux F. P.*, 1832 – 1907) 100
- Lēvenhūks Antonijs, van (*Leeuwenhoek A.*, 1632 – 1723) 44, 45, 285
- Leverjē Urbāns Žans Žozefs (*Leverrier U. J. J.*, 1811 – 1877) 94, 95, 254
- Levšins Vadims (1896 – 1969) 185
- Lipmanis Gabriels (*Lippmann G.*, 1845 – 1921) 118, 240, 241
- Lipsons H. (*Lipson H.*) 18, 285
- Listings Johans Benedikts (*Listing J. B.*, 1808 – 1882) 108
- Lodigins Aleksandrs (1847 – 1923) 111
- Lodžs Oliveris Džozefs (*Lodge O. J.*, 1857 – 1940) 115
- Lokjērs Džozefs Noemens (*Lockyer J. N.*, 1836 – 1920) 90, 96, 199, 205, 220
- Lomonosovs Mihails (1711 – 1765) 251, 342, 352
- Lorencs Hendriks Antons (*Lorentz H. A.*, 1853 – 1928) 84, 102, 118 – 123, 137, 157
- Lorencs Ludvigs (*Lorenz L.*, 1829 – 1891) 119
- Losevs Oļegs (1903 – 1942) 268
- Louels Persivals (*Lowell P.*, 1855 – 1916) 254
- Lousons Džons Deivids (*Lawson J. D.*, dz. 1923) 183
- Ludviķis XIV (*Louis XIV*, 1638 – 1714) 238
- Lukrēcijs; arī Tits Lukrēcijs Kārs (*Titus Lucretius Carus*, ap 99. – 55. g. p. m. ē.) 331, 341
- Lummers Oto Ričards (*Lummer O. R.*, 1860 – 1925) 129 – 131
- Lūiss Džilberts Ņūtons (*Lewis G. N.*, 1875 – 1946) 134, 314
- Ļ
- Ļahovs Vladimirs (dz. 1941) 360
- Ļebedevs Pjotrs (1866 – 1912) 124
- M
- Maiers Jūliuss Roberts (*Mayer J. R.*, 1814 – 1878) 313
- Maiers Tobiass Johans (*Mayer T. J.*, 1723 – 1762) 68
- Maikelsons Alberts Abrahams (*Michelson A. A.*, 1852 – 1931) 119 – 122, 137, 152, 194, 301
- Makdonalds D. (*McDonald D.*) 49, 134
- Makelrojs U. D. (*McElroy U. D.*) 270
- Maklenans Džons Kaningems (*McLennan J.*, 1867 – 1935) 318
- Maksvels Džeimss Klārks (*Maxwell J. C.*, 1831 – 1879) 102, 112 – 114, 120, 123, 128, 218, 241
- Maluss Etjēns (*Malus E.*, 1775 – 1812) 64, 73, 83, 245
- Mandelštams Leonīds (1879 – 1944) 162, 186

- Marcellis Marks Klaudijs 13, 14
 Marci Jans Mareks (*Marci J. M.*, 1595 – 1667) 229
 Marks Aurēlijs (*Marcus Aurelius*, 121 – 180) 21
 Maunders Edvards Valters (*Maunder E. W.*, 1851 – 1928) 310, 362
 Mauroliko Frančesko (*Maurolyco F.*, 1494 – 1575) 30, 31, 229
 Mārsdens Ernests (*Marsden E.*, 1889 – 1970) 145
 Medoks Ričards Līčs (*Maddox R. L.*, 1816 – 1902) 239
 Meijers Jūliuss Lotars (*Meyer J. L.*, 1830 – 1895) 217
 Meimans Teodors Harolds (*Maiman T.*, dz. 1927) 177
 Mendeļejevs Dmitrijs (1834 – 1907) 89, 217, 218, 222
 Mencels Donalds Hovards (*Menzel D. H.*, 1901 – 1976) 142
 Mercs L. (*Mertz L.*) 209
 Merse J. (*Mercier J.*) 194
 Mersens Marens (1588 – 1648) 42
 Mesbauers Rūdolfs (*Mössbauer R.*, dz. 1929) 160
 Mešēns Pjērs Fransuā Andrē (*Mechain P. F. A.*, 1744 – 1804) 68
 Mī Gustavs Ādolfs (*Mie G. A.*, 1868 – 1957) 328, 355
 Miks Dž. M. (*Meek J. M.*) 343
 Milacs I. M. (*Milatz I. M. W.*) 213
 Milikens Roberts Endrū (*Millikan R. E.*, 1868 – 1953) 136
 Millers Deitons Klarens (*Miller D. C.*, 1866 – 1941) 137
 Millers Oskars, fon (*Miller O.*) 303
 Minnārts Marsels (*Minnaert M. G. J.*, 1893 – 1970) 196, 334
 Minkovskis Rūdolfs Leo Bernhards (*Minkowski R. L. B.*, 1895 – 1976) 170
 Mittelštats O. (*Mittelstaedt O.*) 194
 Mladencevs M. V. (1872 – 1941) 217
 Molers Orens Katberts (*Mohler O. C.*, 1908 – 1985) 163
 Molinē Semjuels (1689 – 1728) 59
 Monžs Gaspārs (*Monge G.*, 1746 – 1818) 73, 74, 282
 Mopertui Pjērs Luijs Moro (*Maupertuis P. L. M.*, de, 1688 – 1759) 322
 Morlijs Edvards (*Morley E. W.*, 1838 – 1923) 121, 122
 N
 Nageli K. V. (*Nägel Carl Wilhelm, von*, 1817 – 1891) 105
 Nahins Pols Dž. 114
 Nansens Fritjofs (*Nansen F.*, 1861 – 1930) 28
 Napoleons Bonaparts (*Bonaparte*, 1769 – 1821) 68, 73
 Nernsts Valters Frīdrihs Hermanis (*Nernst W. F. H.*, 1864 – 1941) 118
 Nikols Viljams (*Nicol W.*, 1768 – 1851) 380
 Nikolsons Sets Bārns (*Nicholson S. B.*, 1891 – 1963) 315
 Nilsons Larss (1840 – 1899) 217
 Njepss de Saint-Viktors (*Niepc de Saint-Victor*, 1805 – 1870) 240
 Njepss Žozefs Nisefors (*Niepc J. N.*, 1765 – 1833) 83, 237
 Nobels Alfredds (*Nobel A.*, 1833 – 1896) 143
 Noiess Alfredds (*Noyes A.*) 169
 Nordenšelds Nilss Ādolfs Ēriks (*Nordenskiöld N. A. E.*, 1832 – 1901) 221
 Nūkombas Saimons (*Newcomb S.*, 1835 – 1909) 106, 325

- Ņūtons Izaks (*Newton I.*, 1643 – 1727) 13, 47 – 53, 132, 229, 230, 332
 Ņūtons R. (*Newton R.*) 20
O
 Olberss Heinrihs Vilhelms Matiass (*Olbers H. W. M.*, 1758 – 1840) 325
 Orons Luijs Diko (*Hauron L. D., de*) 242
 Ostvalds Vilhelms (*Ostwald W.*, 1853 – 1932) 232
P
 Palmieri Luidži (*Palmieri L.*, 1807 – 1896) 220
 Paskāls Blēzs (*Pascal B.*, 1623 – 1662) 42
 Pašēns Frīdrihs (*Paschen F. L. C. H.*, 1865 – 1947) 131, 132, 140
 Pauli Volfgangs (*Pauli W.*, 1900 – 1958) 157, 161
 Pecvals Jozefs (*Petzval J.*, 1807 – 1891) 83, 107
 Peierls Rūdolfs Ernests (*Peierls R. E.*, dz. 1907) 151
 Perelmans Jakovs (1882 – 1942) 281
 Pero Žans Batists Gaspars Gistavs Alfrēds (*Perot J. B. G. G. A.*, 1863 – 1925) 90
 Petkers A. (*Poetker A.*) 140
 Petrovs Vasilijš (1761 – 1834) 63, 262
 Pfau Fricis (*Pfau F.*) 303
 Pfunds Augusts Hermanis (*Pfund A.*, 1879 – 1949) 140
 Pikārs Ogists (*Piccard A.*, 1884 – 1962) 123
 Pikārs Žaks (*Piccard J.*, dz. 1922) 356, 357, 363
 Pikārs Žans (*Piccard J.*, 1620 – 1682) 57, 59, 356
 Pikerings Edvards Čārlzs (*Pickering E. Ch.*, 1846 – 1919) 99, 141, 257, 297
 Pikerings Viljams Henrijs (*Pickering W. H.*, 1858 – 1938) 256, 296
 Pikte Marks (*Pictet M.*, 1752 – 1825) 63
 Pirene M. H. (*Pirenne M. H.*) 276
 Pirijs Roberts Edvīns (*Peary R. E.*, 1856 – 1920) 335
 Pitagors (*Pythagoras*, 570. – 500. g. p. m. ē.) 10
 Pizs Frānsiss Gledhelms (*Pease F. G.*, 1881 – 1938) 301
 Planks Makss Karls Ernsts Ludvigs (*Planck M. K. E. L.*, 1858 – 1947) 101, 131, 132
 Platons (*Platōn*, 428. – 348. g. p. m. ē.) 10, 11
 Plīnijs Vecākais (*Gajus Plinius Majors*, 23 – 79) 17, 21
 Plukers Jūliuss (*Plücker J.*, 1801 – 1868) 89, 198
 Plūtārhs (*Plūtarchos*, ap 46 – 127) 14, 362
 Pointings Džons Henrijs (*Poynting J. H.*, 1852 – 1914) 115
 Pokels Frīdrihs Karls (*Pockels F.*, 1865 – 1913) 117
 Polibijs (*Polybios*, ap 201. – 120. g. p. m. ē.) 14
 Porta Džovanni Batista (*Porta G.*, 1535 – 1615) 31
 Porters Alberts (*Porter A. B.*) 290 – 292
 Prevo Pjērs (*Prevost P.*, 1751 – 1839) 63
 Pringsheims Ernsts (*Pringsheim E.*, 1859 – 1917) 129 – 131
 Prīstlijs Džozefs (*Priestley J.*, 1733 – 1804) 215, 312, 313
 Prohorovs Aleksandrs (dz. 1916) 176, 177
 Prokls (*Proklēs*, ap 410 – 485) 21
 Ptolemajs Klaudijs (*Ptolemaios K.*, ap 90 – 168) 17 – 20

- Ptolemajs I Sotērs 11
 Ptolemajs II Filadelfs 12
 Puankarē Anrī (*Poincare H.*, 1854 – 1912) 225, 227
 Puasons Simeons (*Poisson S.*, 1781 – 1840) 73, 74, 77
 Purkiņe Jans Evangelista (*Purkyne J. E.*, 1787 – 1869) 276
- R**
 Raijē Žoržs Antuans Pons (*Rayet G. A. P.*, 1839 – 1906) 220
 Raits Frānsiss Vudvorts (*Wright F. W.*, 1897 – ?) 169
 Ramans Čandrasekara Venkata (*Raman Ch.*, 1888 – 1970) 161, 162, 186, 355
 Ramzejs Viljams (*Ramsay W.*, 1852 – 1916) 89, 96, 199, 218 – 224
 Reihs F. (*Reiche F.*) 89, 199
 Reinicers F. (*Reinitzer F.*) 193
 Relejs Džons Viljams (Strets) (*Rayleigh J.*, 1842 – 1919) 89, 105, 115, 122, 130, 149, 199, 218 – 221
 Rens Kristofers (*Wren Ch.*, 1632 – 1723) 50
 Rentgens Vilhelms Konrāds (*Röntgen W.*, 1845 – 1923) 142, 143
 Reters H. (*Raether H.*) 343
 Rezerfords Daniels (*Rutherford D.*, 1749 – 1819) 215
 Rezerfords Ernests (*Rutherford E.*, 1871 – 1937) 144 – 146, 148, 218, 222, 224, 267
 Rēmers Ole Kristensens (*Römer O. Ch.*, 1644 – 1710) 57 – 59
 Rics Valters (*Ritz W.*, 1878 – 1909) 137, 140
 Rīdbergs Johanness Roberts (*Rydberg J. R.*, 1854 – 1919) 91
 Rigi Augusts (*Righi A.*, 1850 – 1921) 118
 Rihmans Georgs Vilhelms (1711 – 1753) 342, 352
 Rihters Teodors (*Richter T.*, 1824 – 1898) 89, 199
 Ritenhauzs Deivids (*Rittenhouse D.*, 1732 – 1796) 61
 Ritors Johans Vilhelms (*Ritter J.*, 1776 – 1810) 80
 Rivalto Džordāno (*Rivalto G.*) 5
 Rjumins Valērijs (dz. 1939) 360, 361
 Roberts V. K. (*Roberts W. C.*) 205
 Ross Lords (*Ross L.*) 98
 Roulends Henrijs (*Rowland H.*, 1848 – 1901) 90
 Roždestvenskis Dmitrijs (1876 – 1940) 101, 158, 202
 Rudolfs Pauls (*Rudolph P.*, 1858 – 1934) 107
 Runge Karls Dāvids (*Runge C. D.*, 1856 – 1927) 202
- S**
 Sadovskis Aleksandrs (1859 – 1921) 123
 Saņjaks Žoržs Marks Mari (*Sagnac G.*, 1869 – 1928) 226
 Saņņikovs Jakovs 339
 Sarons Žans (1730 – 1794) 66
 Sarpi Paolo (*Sarpi P.*, 1552 – 1623) 35
 Seki Pjetro Andželo (*Secchi P. A.*, 1818 – 1878) 95, 356
 Senebjē Žans (*Senebier J.*, 1742 – 1809) 312
 Seneka Lūcijs Annejs (*Seneca*, 4. g. p. m. ē. – 65. g. m. ē.) 21, 362
 Sīborgs Glens Teodors (*Seaborg G. T.*, dz. 1912) 228
 Sībruks Viljams (*Seabrook W.*) 201

Simpsons Džordžs (*Simpson G. C.*, 1902 – 1984) 348
 Sitters Vilems (*Sitter W.*, 1872 – 1934) 137
 Sklodovska-Kiri Marija (*Skłodowska-Curie M.*, 1867 – 1934) 225 – 227
 Skots Ārčers Frederiks (*Scott Archer F.*, 1813 – 1857) 329
 Slaifers Vesto Melvins (*Slipher V. M.*, 1875 – 1969) 325
 Snelliuss Villebrords (*Snell van Royen W.*, *Snellius*, 1580 – 1626) 41
 Snicers E. J. (*Snitzer E. J.*) 192
 Sodi Frederiks (*Soddy F.*, 1877 – 1956) 150, 222, 224
 Sokrats (*Sōkratēs*, ap 470. – 399. g. p. m. ē.) 9, 10
 Sosīrs Horaks Benedikts, de (*Saussure H. B.*, de, 1740 – 1799) 62, 63, 329
 Stefans Žozefs (*Stefan J.*, 1835 – 1893) 128
 Stoičevs Boriss (*Stoicheff B. P.*) 186
 Stokss Džordžs Gabriels (*Stokes G.*, 1819 – 1903) 87, 198, 225
 Stoļetovs Aleksandrs (1839 – 1896) 118, 134
 Stonejs Džordžs Džonstons (*Stoney G.*, 1826 – 1911) 135, 202
 Strauks Džordžs Vilhelms (*Stroke G. W.*, dz. 1924) 258, 261
 Struve Frīdrihs Georgs Vilhelms Vasilijs (*Struve F. G. W.*, 1793 – 1864) 106
 Struve Oto Ludvigs (*Struve O. L.*, 1897 – 1963) 106
 Struve Oto Vilhelms (*Struve O. W.*, 1819 – 1905) 106
 Sulla Lūcijs Kornēlijs (*Sulla L. C.*, 138. – 78. g. p. m. ē.) 20

Š

Šavlovs Arturs Leonards (*Schavlow A. L.*, dz. 1921) 177
 Šainers Kristofs (*Scheiner Ch.*, 1575 – 1650) 32, 307
 Šeļe Karls Vilhelms (*Scheele C. W.*, 1742 – 1786) 62, 215, 216, 313
 Šenklands R. S. (*Shankland R. S.*) 138
 Šklovskis Josifs (1916 – 1985) 171, 172
 Šlaers S. (*Schlaer S.*) 276
 Šlīmanis Heinrihs (*Schliemann H.*, 1822 – 1890) 9
 Šmits Harisons (*Schmitt H.*, dz. 1935) 279, 327
 Šmits Mārtens (*Schmidt M.*, dz. 1929) 171
 Šrēdingers Ervīns (*Schrödinger E.*, 1887 – 1961) 155 – 157
 Štarks Johans (*Stark J.*, 1874 – 1957) 151, 152, 158
 Šteinheils Hugo Ādolfs (*Steinheil Hugo Adolf*, 1837 – 1893) 107
 Šuleikins Vasilijs (1895 – ?) 355
 Šūmans Viktors (*Schumann V.*, 1841 – 1913) 240
 Šusters Arturs (*Schuster A.*, 1851 – 1934) 144
 Švābe Heinrihs Semjuels (*Schwabe H. S.*, 1789 – 1875) 306
 Švarcšilds Karls (*Schwarzschild K.*, 1873 – 1916) 105

T

Talbots Viljams Henrijs Fokss (*Talbot W. H. F.*, 1800 – 1877) 83, 197, 198, 238, 239
 Taless (*Thalēs*, ap 624. – 547. g. p. m. ē.) 10
 Tamms Igors (1895 – 1971) 165 – 167
 Taunzends Džons Silijs Edvards (*Townsend J. S. E.*, 1868 – 1957) 343
 Tauns Čārlzs Hārdš (*Townes Ch. H.*, dz. 1915) 176, 177, 182, 186
 Tausi R. (*Tausey R.*) 310

- Teits Pīters Gotri (*Tait P. G.*, 1831 – 1901) 115
- Teons no Smirnas (*Theōn*, 2. g. s.) 20
- Teplers Augusts (*Toepler A.*, 1836 – 1912) 103, 104
- Tereņins Aleksandrs (1896 – 1967) 314
- Ticiuss Johans Daniels (*Titius J. D.*, 1729 – 1796) 93
- Timirjazevs Arkādijs (1880 – 1955) 124
- Timirjazevs Kliments (1843 – 1920) 124, 315
- Tindals Džons (*Tyndall J.*, 1820 – 1893) 128, 191, 322, 355
- Tits Līvijs (*Titus Livius*, 59. g. p. m. ē. – 17. g. m. ē.) 13, 14
- Tolanskis Semjuels (*Tolansky S.*, 1907 – 1973) 82
- Tolls Eduards (1858 – 1902) 339
- Tomašeks R. (*Tomaschek R.*) 137
- Tombo Klaids Viljams (*Tombaugh C. W.*, 1906 – 1997) 256
- Tompsons Bendžamins, grāfs Rumfords (*Thompson B., Rumford B.*, 1753 – 1814) 62, 68
- Tomsons Džozefs Džons (*Thomson J. J.*, 1856 – 1940) 135, 136, 144, 147, 149, 155, 218
- Tomsons Viljams, lords Kelvins (*Thomson W., Lord Kelvin*, 1824 – 1907) 115, 122, 124, 128, 167, 198, 225, 311
- Toričelli Evandželista (*Torricelli E.*, 1608 – 1647) 42, 44
- Torps T. (*Thorp T.*) 90
- Traverss Moriss Viljams (*Travers Morris Willjam*, 1872 – 1961) 89, 221, 222
- Trimplers Roberts Jūliuss (*Trümpler R. J.*, 1886 – 1956) 160
- U**
- Ulenbeks Džordžs Jūdžins (*Uhlenbeck G.*, dz. 1900) 203
- Ulugbeks Muhammeds Taragajs (1394 – 1449) 26
- Urbēns Žoržs (*Urbain Georges*, 1872 – 1938) 199
- V**
- Van der Lugts A. B. (*Van der Lugt A. B.*) 259, 261
- Van Hils A. (*Van Heel A. C. S.*) 191
- Vavilovs Sergejs (1891 – 1951) 25, 162 – 165, 185
- Vēbers Ernsts (*Weber E.*, 1795 – 1878) 277, 278
- Veimans R. J. (*Weymann R. J.*) 297
- Vegards L. (*Vegard L.*) 320
- Verdē M. E. (*Verdet M. E.*, 1824 – 1866) 77, 84
- Viherts Johans Emils (*Wiechert J. E.*, 1861 – 1928) 325
- Vilds Ruperts (*Vildt R.*, 1905 – 1976) 308
- Vilsons Čārlzs Tomsons Rīss (*Wilson Ch. T. R.*, 1869 – 1959) 348
- Vinklers Klemenss Aleksandrs (*Winkler K. A.*, 1838 – 1904) 217
- Vipls Freds Lorens (*Whipple F. L.*, dz. 1906) 125
- Vitēlijs (*Vitellione, Vitellio, Vitelo*, 13. gs.) 24
- Vitstons Čārlzs (*Wheatstone Ch.*, 1802 – 1875) 197
- Vīners Oto (*Wiener O.*, 1862 – 1927) 118
- Vīns Vilhelms (*Wien W.*, 1864 – 1928) 129 – 131
- Volastons Viljams Haidss (*Wollaston W. H.*, 1766 – 1828) 80, 197
- Vollers Ričards (*Waller R.*) 45
- Volless R. J. (*Wallace R. J.*) 90

- Volšs A. (*Walsh A.*) 213
 Voterfilds R. L. (*Waterfield R. L.*) 258
 Vudberijs E. J. (*Woodbury E. J.*) 186
 Vuds Džons (*Wood J.*) 363
 Vuds Roberts Viljamss (*Wood R. W.*, 1868 – 1955) 104, 140, 163, 200, 201, 242, 244, 247 – 249, 262 – 265, 296, 297, 339
 Vudsons T. (*Woodson T. T.*) 163
 Z
 Zēbeks Tomass Johans (*Seebeck T.*, 1770 – 1831) 64, 240
 Zeidels A. (*Saidel A.*) 105
 Zelmeijers V. (*Sellmeier W.*) 100, 101
 Zeļdovičs B. J. 189
 Zenkēvičs N. 358
 Zēmanis Pīters (*Zeeman P.*, 1865 – 1943) 91, 122, 123, 152
 Zommerfelds Arnolds Johans Vilhelms (*Sommerfeld A. J. W.*, 1868 – 1951) 140, 147, 151, 152, 162, 167, 196, 202
 Ž
 Žakino Pjērs (*Jacquinot P.*, dz. 1910) 209
 Žansēns Pjērs Žils Sezārs (*Jonssen P. J. C.*, 1824 – 1907) 96, 220, 245
 Žirārs A. (*Girard A.*) 212

2. pielikums

SVARĪGĀKIE AR OPTIKAS ATTĪSTĪBU SAISTĪTIE ATKLĀJUMI

6. gs. p. m. ē. Pitagoriešu uzskatu veidošanās par redzi
 5. gs. p. m. ē. Empedokla, Platona un Dēmokrita redzes teoriju rašanās
 4. gs. p. m. ē. Aristoteļa darbības periods
 3. gs. p. m. ē. Arhimēds izmanto spoguļus pretinieka kuģu aizdedzināšanai
 3. gs. p. m. ē. Samosas Aristarhs nosaka attālumu no Zemes līdz Mēnesim
 2. gs. p. m. ē. Eratostens nosaka Zemes rādiusu
 2. gs. p. m. ē. Hiparhs sastāda zvaigžņu katalogu
 1. gs. Hērons konstatē, ka gaismas stara krišanas un atstarošanās leņķi ir vienādi
 2. gs. Ptolemajs pēta gaismas laušanu
 2. gs. Galens pēta acs uzbūvi
 ap 1000. g. Alhazens veic redzes, attēla veidošanās un gaismas izplatīšanās optiskos pētījumus
 13. g. s. Rodžera Bēkona darbības periods
 1270.–1278. g. Uzrakstīts Vitēlija traktāts optikā
 ap 1285. g. Izgudrotas brilles
 15. gs. Leonardo da Vinči optiskie pētījumi
 1543. g. Iznāk Kopernika darbs "Par debesu sfēru griešanās"
 1554. g. Mauroliko pabeidz rakstīt darbu optikā

1558. g. Izdots Portas optikas darba pirmais variants
1604. g. Keplera grāmatas "Papildinājums Vitēlija optikai" iznākšana
1609. g. Galilejs uzbūvē pirmo teleskopu
- ap 1620. g. Snelliuss formulē laušanas likumu
1638. g. Galilejs mēģina noteikt gaismas izplatīšanās ātrumu
- ap 1660. g. Fermā principa formulēšana
1665. g. Grimaldi difrakcijas pētījumu publicēšana
1665. g. Huka plānu slāniņu krāsas pētījumi
1666. g. Ņūtons ar prizmu iegūst Saules spektru
1669. g. Bartolins novēro gaismas dubultlaušanu
1676. g. Rēmers nosaka gaismas izplatīšanās ātrumu
1678. g. Heigenss Parīzes Zinātņu akadēmijas sēdē izklāsta savu gaismas viļņu teoriju
1690. g. Heigenss publicē darbus par gaismas polarizāciju
1704. g. Iznāk Ņūtona grāmata "Optika"
1725. g. Bredlijs atklāj gaismas aberāciju
1729. g. Bugērs postulē gaismas absorbcijas likumu
1747. g. Eilers atklāj pozitīvas lēcas fokusa attāluma formulu
1758. g. Dolonds izgatavo pirmo ahromatisko lēcu
1760. g. Nāk klajā Bugēra un Lamberta darbi
1771. g. Prīstlijs atklāj fotosintēzi
1781. g. V. Heršels atklāj septīto Saules sistēmas planētu Urānu
1800. g. V. Heršels Saules spektrā atklāj infrasarkanos starus
1801. g. Jungs Londonas Karaliskajā biedrībā ziņo par krāsu redzi
1802. g. Rīters pēta ultravioletos starus
1802. g. Jungs izvirza interferences ideju
1802. g. Volastons izmanto ieejas spraugu spektrālajā aparātā un novēro tumšas līnijas Saules spektrā
1807. g. Jungs izmēra gaismas viļņu garumu
1808. g. Maluss novēro atstarotās gaismas polarizāciju
1811. g. Maluss atklāj lauztās gaismas polarizāciju
1811. g. Arago atklāj polarizācijas plaknes griešanu kvarcā
1815. g. Brūsters atklāj pilnās polarizācijas leņķi un deformēta stikla dubultlaušanu
1815. g. Fraunhofers pēta tumšās līnijas Saules spektrā
1815. g. Bio atklāj polarizācijas plaknes griešanas likumu
1815. g. Frenels Parīzes Zinātņu akadēmijā iesniedz memuārus par gaismas difrakciju
1816. g. Frenels un Arago pēta polarizētas gaismas interferenci
1816. g. Bio un Zēbeks atklāj pleohroismu
1817. g. Brūsters izgudro kaleidoskopu
1817. g. Jungs izvirza ideju par gaismas šķērsviļņu dabu
1819. g. Tiek formulēts Heigensa–Frenela princips
1820. g. Nikols izgudro prizmu neordināro staru iegūšanai
- 1820.–1864. g. Gaismas mehāniskās viļņu teorijas "kundzība"
1821. g. Frenels neatkarīgi no Junga izvirza hipotēzi par gaismas šķērsviļņu dabu
1821. g. Frenels izstrādā gaismas laušanas un atstarošanās kvantitatīvu teoriju
1822. g. Dž. Heršels atklāj līnijas emisijas spektrā
1825. g. Tiek atklāts Purkiņē efekts
1827. g. Frenels izgudro pakāpju lēcu

1828. g. Nikols izgudro polarizācijas prizmu
1834. g. Talbots eksperimentē ar spirta lampu un metālu sāļiem
1839. g. Dagērs patentē fotogrāfisko metodi
1840. g. Sākas luminiscences pētījumi
1840. g. Dreipers fotografē Mēnesi
1840. g. Amiči iesaka imersijas metodi mikroskopijā
1841. g. Gauss izstrādā centrētu paraksiālu staru optiku
1842. g. Doplera efekta teorijas izveide
1846. g. Faradejs atklāj polarizācijas plaknes pagriešanu magnētiskajā laukā
1846. g. Galle atklāj Neptūnu atbilstoši Leverjē un Adamsa aprēķiniem
1848. g. Džordžs Bonds sāk fotografēt zvaigznes un mērit to spožumu
1849. g. Fuko novēro nātrija D līnijas absorbciju elektriskajā lokā
1849. g. Fizo izstrādā metodi gaismas ātruma mērīšanai gaisā
1850. g. Fizo mēra gaismas ātrumu ūdenī
1850. g. Fuko nosaka gaismas izplatīšanās ātrumu ar savu metodi
1850. g. Bonds un Vipls veic pirmos zvaigžņu fotouzņēmumus
1851. g. Iegūts pirmais Saules aptumsuma dagerotips
1855. g. Geislers izgatavo caurulītes elektriskai izlādei gāzēs
1858. g. Fuko izmanto ēnu metodi teleskopu objektīvu kvalitātes pārbaudei
1859. g. Kirhofs formulē termiskās starošanas likumu
- 1859.–1862. g. Kirhofs un Bunzens izstrādā spektrālās analīzes metodi
1861. g. Lerū novēro anomālu dispersiju
1861. g. Kirhofs izveido pirmo Saules spektra atlantu
1864. g. Iznāk Maksvela darbs "Lauka dinamiskā teorija"
1864. g. Augusts Teplers izstrādā ēnu metodi gāzu neviendabības pētīšanai
1867. g. Haginss atklāj Doplera efektu gaismai
1868. g. Tindals pēta gaismas izkliedi
1868. g. Žansēns novēro Saules koronas spektru
1871. g. Tiek iegūts Mēness uzņēmumu stereoskopiskais pāris
1872. g. Abe izstrādā mikroskopa izšķirtspējas teoriju
1873. g. Lodigins izgudro elektriskās kvēles spuldzi
1875. g. Atklāts Kerra efekts – dubultlaušana izotropās vielās
1876. g. Žansēns iegūst Saules fotogrāfijas, kur ļoti labi redzamas fotosfēras granulas
1877. g. Lamberts demonstrē, ka siltumstari izplatās taisnā virzienā
1879. g. Stefāns pēta starošanas likumus
1881. g. Maikelsona eksperiments Zemes kustības attiecībā pret ēteru noteikšanai
1883. g. Roulends izgatavo sfērisku difrakcijas režģi
1884. g. Bolcmanis teorētiski pamato Stefāna likumu (Stefāna–Bolcmaņa likums)
1885. g. Balmers uzraksta formulu ūdeņraža līniju viļņu garumiem
1887. g. Hercs eksperimentāli iegūst elektromagnētiskos viļņus, atklāj fotoefektu
1888. g. Stoļetovs uzsāk fotoefekta pētījumus
1890. g. Viners novēro gaismas stāvviļņus
1891. g. Lipmans izmanto gaismas stāvviļņus krāsu fotogrāfijā
1893. g. Vina formulas pamatojums termiskam starojumam
1894. g. Pokels novēro kristālu laušanas koeficienta lineāras izmaiņas elektriskajā laukā
- 1894.–1898. g. Atklātas un izpētītas inertās gāzes
1895. g. Publicēts H. Lorenca darbs par kustīgu ķermeņu optiskajām īpašībām

1895. g. Atklāti X-stari (rentgenstari)
1896. g. Zēmanis atklāj spektrālīniju sašķelšanos magnētiskajā laukā
1897. g. Dž. Tomsons atklāj elektronu
1900. g. Planks izmanto akcijas kvanta jēdzienu un pamato absolūti melna ķermeņa starojuma likumu
1900. g. Ļebedevs Parīzē ziņo par gaismas spiediena novērošanas eksperimentiem
1903. g. Iegūts radona spektrs
1905. g. Einšteins izstrādā relativitātes teoriju
1909. g. Vuds fotografē Mēnesi UV staros
1910. g. Atklāts Kotona–Mutona efekts
- 1911.–1913. g. Rezerforda–Bora atoma modeļa izveide
1912. g. Lāue izmanto kristālus rentgenstaru difrakcijas pētījumos
1913. g. Štarks atklāj spektrālo līniju sašķelšanos elektriskajā laukā
1916. g. Einšteins izveido starojuma teoriju
1919. g. Einšteina gravitācijas teorijas pārbaude pēc gaismas stara nolieces Saules gravitācijas laukā
1920. g. Maikelsons un Pizs interferometriski mērī zvaigžņu leņķiskos diametrus
1922. g. Atklāta Mandelštama–Briljuēna izkliede
1923. g. Komptons pierāda fotona impulsa esamību
1923. g. Debroļi postulē matērijas viļņu esamību
1925. g. Ulenbeks un Gaudsmits izvirza elektrona spina momenta un magnētiskā momenta hipotēzi
1927. g. Devisons un Džermers atklāj elektronu difrakciju
1928. g. Tiek novērota gaismas kombinatīvā izkliede
1928. g. Diraks izveido relativistisko kvantu teoriju
1930. g. Tombo atklāj Plutonu
1934. g. Tiek atklāts Čerenkova efekts
1936. g. Franks un Tamms izveido Čerenkova efekta teoriju
1948. g. Gabors izveido hologrāfijas pamatus
1954. g. Izveidots pirmais māzers (amonjaka molekulas)
1955. g. Hanberijs Brauns ieteic intensitātes interferometru zvaigžņu diametru mērīšanai
1956. g. Konne izgudro sfērisko Fabrī–Pero interferometru
1960. g. Izgudrots lāzers
1960. g. Veidojas nelineārā optika
1961. g. Sākas Veneras izpēte ar kosmiskajiem aparātiem
1963. g. Šmits atklāj kvazārus
1968. g. Pirmo reizi ar lāzerstara palīdzību iegūst kodoltermisku reakciju
1969. g. Tiek veikta Mēness lokācija ar lāzerstaru
1969. g. Izgudrots Adamara spektrometrs
1970. g. Veneras virsmu sasniedz ASS
1972. g. Tiek izdarīts viļņu frontes apvēršanas eksperiments
1972. g. Ivensons nosaka gaismas izplatīšanās ātrumu ar precizitāti līdz 0,8 m/s
1974. g. Laberi izstrādā speklu metodi zvaigžņu diametru noteikšanai
1975. g. ASS nosēšanās aparāts sasniedz Veneras virsmu un pārraida nosēšanās vietas panorāmu
- 1979.–1989. g. Lielo planētu izpēte ar stacijām “Voyager–1” un “Voyager–2”
1980. g. Atklāta gravitācijas lēcas darbība

3. pielikums

LITERATŪRAS AVOTI

1. *Balklavs A.* Jaunas atziņas par planētu veidošanos. – Zvaigžņotā Debess, 1992. g. vasara.
2. *Balklavs A.* Identificēts pirmais ārpusgalaktikas pulsārs. – Zvaigžņotā Debess, 1994. g. pavasaris.
3. *Belkinds A., Eiduss J.* Optoelektronika. – Rīga: Liesma, 1976., 104 lpp.
4. *Borisovs J.* Lāzers kalpo cilvēkam. – Rīga: Liesma, 1975., 100 lpp.
5. *Cimahoviča N.* Raida kosmos. – Rīga: LZA izdevn., 1961., 72 lpp.
6. *Eiduss J., Siliņš E.* Fotonika. – Rīga: Liesma, 1974., 128 lpp.
7. *Gills M.* Plutona virsmas fotogrāfija. – Zvaigžņotā Debess, 1996. g. vasara.
8. *Kaļitins N. N.* Saules stari. – Rīga: 1948., 96 lpp.
9. *Klētņieks J.* Nāk komēta. – Rīga: Zinātne, 1986., 158 lpp.
10. *Morozs O.* Harmonijas meklējumi. – Rīga: Avots, 1984., 263 lpp.
11. *Mūkins E.* Marss tuvplānā. – Zvaigžņotā Debess, 1981./82. g. ziema.
12. *Okmanis A.* Hologrāfija. – Rīga: Avots, 1985., 142 lpp.
13. *Perelmanis J.* Saistošā fizika. – Rīga: LVI, 1952., 240 lpp.
14. *Rolovs B.* Par fiziku un fiziķiem. – Rīga: Zinātne, 1989., 488 lpp.
15. *Švarcs K.* Gaismas ķīmija. – Rīga: LVI, 1961., 86 lpp.
16. *Švarcs K., Ozols A.* Hologrāfija – revolūcija optikā. – Rīga: Liesma, 1975., 207 lpp.
17. *Vilks I.* Zvaigžņotās debess ceļvedis. – Rīga: Mācību grāmata, 1996., 104 lpp.
18. *Začs L.* Logs uz bezgalību. – Zvaigžņotā Debess, 1997. g. rudens.
19. *Hecht E.* Physics in Perspective. – New York: HBJ, 1980., 532 pp.
20. *Herrmann D. B.* Entdecker des Himmels. – Urania-Verlag: 1979., 256 S.
21. *Skopec R.* Photographie im Wandel der Zeiten. – Praha: Artia, 1964., 317 S.
22. *Андреев Ж. А., Силва Э., Лошак Ж.* Поля, частицы, кванты. – М.: Наука, 1972., 192 с.
23. *Ашкенази Г. И.* Цвет в природе и технике. – М. Л.: ГЭИ, 1959., 88 с.
24. *Боголюбов А. Н.* Роберт Гук. – М.: Наука, 1984., 240 с.
25. *Болотовский Б. М.* Свечение Вавилова–Черенкова. – М.: Наука, 1964., 96 с.
26. *Болотовский Б. М.* Оливер Хевисайд. – М.: Наука, 1985., 256 с.
27. *Баршевский Б. У.* Квантово-оптические явления. – М.: Высшая школа, 1968., 120 с.
28. *Бройль Луи, де.* Революция в физике. – М.: Атомиздат, 1965., 232 с.
29. *Вавилов С. И.* Глаз и солнце. – М.: Наука, 1976., 128 с.
30. *Вайскопф В.* Наука и удивительное. – М.: Наука, 1965., 228 с.
31. *Воккер Ж.* Астрономическая фотография. – М.: Наука, 1975., 104 с.
32. *Гадамский Я.* Шеренга великих астрономов. – Торунь, 1969., 100 с.
33. *Голин Г. М., Филонович С. Р.* Классики физической науки (с древнейших времен до начала XX в.). – М.: Высшая школа, 1989., 576 с.
34. *Гребеников Е. А.* Николай Коперник. – М.: Наука, 1973., 96 с.
35. *Григ Дж.* Физика XX века, ключевые эксперименты. – М.: Мир, 376 с.
36. *Григорьев В., Мякишев Г.* Силы в природе. – М.: Наука, 1977., 416 с.
37. *Гуло Д. Д., Осиповский А. Н.* Дмитрий Сергеевич Рождественский. – М.: Наука, 1980., 288 с.
38. *Гуриков В. А.* Становление прикладной оптики XV–XIX вв. – М.: Наука, 1983., 190 с.
40. *Дорфман Я. Г.* Всемирная история физики с начала XIX до середины XX вв. – М.: Наука, 1979., 317 с.
41. *Зверева С. В.* В мире солнечного света. – Л.: Гидромет, 1988., 160 с.

42. *Иоффе А. Ф.* Встреча с физиками. – М.: ФМ, 1962., 144 с.
43. *Кан С. И.* Океан и атмосфера. – М.: Наука, 1982., 144 с.
44. *Кедров Ф.* Эрнест Резерфорд. – М.: Знание, 1980., 128 с.
45. *Келер Вл.* Сергей Вавилов. – М.: Молодая Гвардия, 1961., 240 с.
46. *Кляус Е. М., Франкфурт У. И.* Макс Планк. – М.: Наука, 1980., 391 с.
47. *Кляус Е. М., Франкфурт У. И., Френк А. М.* Нильс Бор. – М.: Наука, 1977., 384 с.
48. *Кок У.* Лазеры и голография. – М.: Мир, 1971., 136 с.
49. *Коттон Э.* Семья Кюри и радиоактивность. – М.: Атомиздат, 1964., 176 с.
50. *Кривомазов А. Р.* Фредерик Содди. – М.: Наука, 1978., 207 с.
51. *Кудрявцев П. С.* Исаак Ньютон. – М.: 1963., 142 с.
52. *Кудрявцев П. С.* Курс истории физики. – М.: Просвещение, 1974., 312 с.
53. *Кузнецов Б. Г.* От Галилея до Эйнштейна. – М.: Наука, 1966., 518 с.
54. *Лейзер Д.* Создавая картину Вселенной. – М.: Мир, 1988., 324 с.
55. *Линднер Г.* Картины современной физики. – М.: Мир, 1977., 272 с.
56. *Липсон Г.* Великие эксперименты в физике. – М.: Мир, 1972., 216 с.
57. *Лишевский В. П.* Охотники за истиной. – М.: Наука, 1990., 288 с.
58. *Льоцци М.* История физики. – М.: Мир, 1970., 464 с.
59. *Макдональд Д.* Фарадей, Максвелл и Кельвин. – М.: Атомиздат, 1967., 158 с.
60. *Мерион Дж. Б.* Физика и физический мир. – М.: Мир, 1975., 626 с.
61. *Месси Г.* Новая эра в физике. – М.: Атомиздат, 1965., 310 с.
62. *Мигдал А. Б.* Квантовая физика для больших и маленьких. – М.: 1989., 144 с.
63. *Мизун Ю. Г.* Полярные сияния. – М.: Наука, 1983., 136 с.
64. *Миннарт М.* Свет и цвет в природе. – М.: ГИФМЛ, 1959., 424 с.
65. *Мирошниченко Л. И.* Солнечная активность и Земля. – М.: Наука, 1981., 144 с.
66. *Овчаров К. Е.* Тайны зеленого растения. – М.: Наука, 1973., 208 с.
67. *Омхольт А.* Полярные сияния. – М.: Мир, 1974., 248 с.
68. *Пикельнер С. Б.* Солнце. – М.: ГИФМЛ, 1961., 84 с.
69. *Пекара А.* Новый облик оптики. – М.: Советское радио, 1973., 264 с.
70. *Сердюков А. Р.* Петр Николаевич Лебедев. – М.: Наука, 1978., 327 с.
71. *Сибрук И.* Роберт Вуд. – М.: ФМ, 1960., 324 с.
72. *Сморodinский Я. А.* Частицы, кванты, волны. – М.: Знание, 1973., 64 с.
73. *Содди Ф.* История атомной энергетики. – М.: Атомиздат, 1979., 288 с.
74. *Спасский Б. И.* История физики. – М.: Высшая школа, 1977., 320 с.
75. *Спиридонов О. П.* Людвиг Больцман. – М.: Просвещение, 1987., 112 с.
76. *Струве О., Зебергс В.* Астрономия XX века. – М.: Мир, 1968., 548 с.
77. *Тарасов А. В.* Лазеры и их применение. – М.: Радио и связь, 1983., 152 с.
78. *Тарасов А. В.* Физика в природе. – М.: Просвещение, 1988., 352 с.
79. *Таубе П. Р., Руденко Е. И.* От водорода до нобелия. – М.: Высшая школа, 1961., 330 с.
80. *Толанский С.* Оптические иллюзии. – М.: Мир, 1967., 124 с.
81. *Толанский С.* Революция в оптике. – М.: Мир, 1971., 224 с.
82. *Уиньон М.* Знакомство с голографией. – М.: 1980., 190 с.
83. *Уитни Ч.* Открытие нашей Галактики. – М.: Мир, 1975., 236 с.
84. *Филонович С. Р.* Самая большая скорость. – М.: Наука, 1983., 176 с.
85. *Филонович С. Р.* Лучи, волны, кванты. – М.: Наука, 1978., 208 с.
86. *Франкфурт У. И., Френк А. М.* Оптика движущихся тел. – М.: Наука, 1972., 212 с.
87. *Франкфурт У. И., Френк А. М.* Физика наших дней. – М.: Наука, 1971., 240 с.
88. *Фрит К., Эссен А.* Скорость света и радиоволн. – М.: Мир, 1973., 196 с.

89. Фриш С. Э. Сквозь призму времени. – М.: Изд. полт. лит., 1992., 430 с.
90. Холличер В. Природа в научной картине мира. – М.: Прогресс, 1966., 568 с.
91. Храмов Ю. А. Физики: Биографический справочник. – М.: Наука, 1983., 400 с.
92. Шенф Х. Г. От Кирхгофа до Планка. – М.: Мир, 1981., 192 с.
93. Д. И. Менделеев в воспоминаниях современников. – М.: Атомиздат, 1969., 224 с.
94. Мир вокруг нас. – М.: Изд. полт. лит., 1983., 176 с.
95. Современные телескопы. Под ред. Дж. Бербиджа и Л. Хьюита. – М.: Мир, 1984., 312 с.

4. pielikums

INTERNETA ADRESES

- <http://antwarp.gsfc.nasa.gov/apod/archivepix.html> – Astronomy Picture of the Day Archive.
- <http://www.th.physik.uni-frankfurt.de/~jr/phypicnobel.html> – Pictures Gallery of the Nobel Prize in Physics.
- <http://www.almaz.com/nobel/> – The Nobel Prize Internet Archive.
- <http://charm.physics.ucsb.edu/people/hnn/physicists.html> – Images of Physicists [2].
- <http://charm.physics.ucsb.edu/people/hnn/physicists.html> – Images of Physicists.
- <http://www.ziplink.net/~pik/Famous%20Scientists.html> – Famous Scientists.
- <http://www.treasure-troves.com/bios/topics/Physicists.html> – Physicists – from Eric Weissteins Treasure Trove of Scientific Biography.
- <http://www.treasure-troves.com/bios/topics/Astronomers.html> – Astronomers – from Eric Weissteins Treasure Trove of Scientific Biography.
- <http://www.aip.org/history/syllabi/> – History of Physics Syllabi.
- <http://www.aip.org/history/syllabi/> – The Royal Society.
- <http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/BiogIndex.html> – Indexes of Biographies.
- <http://www.aip.org/history/s-indx.htm> – AIP Center for History of Physics Site Index.
- <http://www.sjsu.edu/depts/Museum/aamenu.html> – SJSU Virtual Museum.
- <http://www.treasure-troves.com/bios/photo-credits.html> – Armstrong Edwin – Photocredits Biosworld.
- http://www.aip.org/cgi-bin/esva_advanced2.pl – ESVA Advanced Search Page.
- http://www.ibiblio.org/expo/vatican.exhibit/exhibit/d-mathematics/Greek_astro.html – Greek Astronomy.
- <http://www.th.physik.uni-frankfurt.de/~jr/portraits.html> – Pictures of Physicists [3].
- <http://www.th.physik.uni-frankfurt.de/~jr/phypicexp1.html> – Pictures of Physicists-Experimentalists [Part 1].
- <http://www.th.physik.uni-frankfurt.de/~jr/phypicexp2.html> – Pictures of Physicists-Experimentalists [Part 2].
- <http://www.th.physik.uni-frankfurt.de/~jr/phypictheo.html> – Pictures of Physicists-Theoreticians [2].
- <http://www.th.physik.uni-frankfurt.de/~jr/phypicnob80.html> – Pictures of Physicists-Nobel Prize 1981–1990.
- <http://www.th.physik.uni-frankfurt.de/~jr/phypicold.html> – Pictures of Famous Physicists 1.
- <http://www.th.physik.uni-frankfurt.de/~jr/phypicold.html>
- <http://www.th.physik.uni-frankfurt.de/~jr/phypics2.html>
- <http://www.ncas.org/condon/text/s6chap04.htm> – Optical Mirages.

FIZIKĀLĀS KONSTANTES

Avogadro skaitlis	$N_0 = 6,022141 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Absolūtā nulle, K	$-273,15 \text{ }^\circ\text{C}$
Bolcmaņa konstante	$k = 1,3806503 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} = 1,38 \cdot 10^{-16} \text{ erg/grad}$
Bora rādiuss	$a_0 = 0,5291772083 \cdot 10^{-10} \text{ m} \cong 0,529 \text{ \AA}$
Elektrona lādiņš	$e = 1,602176462 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Elektrona masa	$m_e = 9,1093888 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Gaismas ātrums	$c = 299\,792,458 \text{ km/s}$
Gaismas mehāniskais ekvivalents	$0,00160 \text{ W/lm (625 lm/W)}$
Gravitācijas konstante	$G = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2 = 6,673 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{g} \cdot \text{s}^2$
Ideālas gāzes konstante	$R = 8,314472 \text{ J/mol} \cdot \text{K} = 8,314 \cdot 10^7 \text{ erg/mol} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$
Komptona viļņa garums	$L = h/m_e c = 2,426310215 \cdot 10^{-12} \text{ m}$
Planka konstante	$h = 6,62606876 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
Protona masa	$m_p = 1,67262158 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Ridberga konstante	$R_\infty = 109\,737,31568548 \text{ cm}^{-1}$
Siltuma mehāniskais ekvivalents	$4185,5 \text{ J/kcal} = 4,185 \text{ J/cal}$
Skaņas ātrums gaisā	344 m/s
Spektrālās līnijas dabiskais platums	$\Delta\lambda_n = 1,2 \cdot 10^{-14} \text{ m} = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ \AA}$
Stefana – Bolcmaņa konstante	$\sigma = 5,670400 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$
Zemes gravitācijas lauka paātrinājums	$g = 9,807 \text{ m/s}^2$



ASTRONOMISKIE DATI

Astronomiskā vienība	$au = 149,6 \cdot 10^6 \text{ km}$
Gaismas gads	$ly = 0,945 \cdot 10^{13} \text{ km}$
Parseks	$1 \text{ pc} = 3,08 \cdot 10^{13} \text{ km} = 3,26 \text{ ly}$
Zemes masa	$5,975 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
Zemes diametrs	$1,276 \cdot 10^4 \text{ km}$
Zemes vidējais blīvums	$5,52 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
Zemes vidējais orbitālais kustības ātrums	$29,8 \text{ km/s}$
Zemes un Mēness vidējais attālums	$384\,000 \text{ km}$
Mēness masa	$7,343 \cdot 10^{22} \text{ kg}$
Mēness diametrs	$3,476 \cdot 10^3 \text{ km}$
Saules masa	$1,987 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
Saules diametrs	$1,391 \cdot 10^6 \text{ km}$
Saules efektīvā temperatūra	$T_{\text{ef}} = 5770 \text{ K}$
Saules leņķiskais diametrs	$31'59''$
Saules konstante	$E_0 = 1,95 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min} = 136 \text{ mW/cm}^2$
Saules apgaismojums uz Zemes atmosfēras robežas	$E = 135\,000 \text{ lx}$
Saules enerģijas plūsma	$3,9 \cdot 10^{33} \text{ erg/s} = 3,9 \cdot 10^{26} \text{ W}$
Saules starojuma intensitāte	$2,0 \cdot 10^{10} \text{ erg/cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{sr}$
Zemes magnētiskā lauka intensitāte polā	$0,7 \text{ Oe}$
Zemes magnētiskā lauka intensitāte uz ekvatora	$0,42 \text{ Oe}$
Habla konstante	$H_0 \cong 65 \text{ km/s} \cdot \text{Mpc}$

2001-5
220



ISBN 9984-18-175-8



9 789984 181752